

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad Ingeniería En Ciencias Aplicadas
Carrera De Ingeniería En Mantenimiento Eléctrico

MODELACIÓN DEL SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN E INTEGRACIÓN CON EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN DE EMELNORTE.

Trabajo de grado previo a la obtención del título de grado de Ingeniero en
Mantenimiento Eléctrico

Autor:

Alicia Margarita Enríquez De La Torre

Director:

MSc. Hernán Pérez

Opositores:

MSc. Mauricio Vásquez

MSc. Claudio Otero

Ibarra 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determina la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar a por procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad

Por medio del presente documento dejen sentada mi voluntad de participar en este proyecto para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | |
|----------------------------|---|
| Cedula de Identidad | 1003768981 |
| Apellidos y Nombres | Enríquez de la Torre Alicia Margarita |
| Dirección | San Roque - La Esperanza calle Picuasi y Línea Férrea |
| Email | aliciae090@gmail.com |
| Teléfono móvil | 0986714290 |
| DATOS DE LA OBRA | |
| Título | MODELACIÓN DEL SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN E INTEGRACIÓN CON EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN DE EMELNORTE |
| Autor | Enríquez de la Torre Alicia Margarita |
| Fecha | Febrero del 2019 |
| Programa | Pregrado |
| Título que aspira | Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico |
| Director | MSc. Hernán Pérez |

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo Alicia Margarita Enríquez de la Torre, con cédula de identidad No 1003768981 , en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la biblioteca de la universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de materia y como apoyo a la educación, investigación y extensión en concordancia con la ley de Educación Superior artículo 144

3. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor terceros, por lo tanto, la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales y saldrá en defensa de la Universidad Técnica del Norte, en caso de reclamación por parte de terceros

En la ciudad de Ibarra, a los 15 días del mes de febrero del 2019



Enríquez de la Torre Alicia Margarita
C.I. 1003768981-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo Alicia Margarita Enríquez de la Torre, con cédula de identidad No 1003768981, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado: "MODELACIÓN DEL SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN E INTEGRACIÓN CON EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN DE EMELNORTE", que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos concedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

A handwritten signature in blue ink, reading "Alicia Enríquez", is written over a horizontal line of small dots.

Enríquez de la Torre Alicia Margarita
C.I. 1003768981-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo Alicia Margarita Enríquez de la Torre, con cédula de identidad No 1003768981, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de autoría; y que este no ha sido previamente presentado en ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las Leyes de la Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normativa vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, 15 de febrero de 2019.



Enríquez de la Torre Alicia Margarita
C.I. 1003768981-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ACEPTACION DEL DIRECTOR

MSc. Hernán Pérez

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por la señorita estudiante: Enríquez de la Torre Alicia Margarita, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado “MODELACIÓN DEL SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN E INTEGRACIÓN CON EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN DE EMELNORTE”. Para la obtención del título de Ingeniero en mantenimiento eléctrico: aprobando la defensa, impresión y empastado.

.....
MSc. Hernán Pérez
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

DEDICATORIA

A mis padres por ser guías y ejemplo a seguir, educándonos e inculcándonos valores de respeto y honestidad; a mis hermanos, por sus consejos en cada etapa impulsándome a seguir siempre mis metas y al pequeño que desde su llegada llenó alegría el hogar, Francisco.

*Los mejores momentos de mi vida,
han sido aquellos que he disfrutado
en mi hogar; en el seno de mi
familia.*

Thomas Jefferson

AGRADECIMIENTOS

A mi director, MSc. Hernán Pérez por su apoyo incondicional, quien desde el principio demostró interés y compartió sus conocimientos, de la misma forma al Ing. Omar Chacón por su ayuda constante, siempre de forma amable y desinteresada haciendo que el desarrollo del trabajo grado sea realizado con éxito.

Tabla De Contenido

| | |
|--|-------|
| AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE..... | I |
| CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE | III |
| DECLARACIÓN | IV |
| DEDICATORIA | VI |
| AGRADECIMIENTOS..... | VII |
| Tabla De Contenido | VIII |
| Índice De Figuras..... | XII |
| Índice De Tablas | XV |
| RESUMEN | XVII |
| ABSTRACT | XVIII |
| A1. Introducción | XIX |
| A2. Planteamiento del problema | XX |
| A3. Alcance | XXI |
| A4. Justificación del trabajo..... | XXI |
| A5. Viabilidad del trabajo | XXI |
| A6. Objetivo general | XXII |
| A7. Objetivos específicos | XXII |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| Marco Teórico | 1 |
| 1.1 Introducción | 1 |
| 1.2 Sistema Eléctrico de Potencia..... | 1 |
| 1.3 Niveles de voltaje..... | 2 |
| 1.4 Topología de las redes eléctricas..... | 2 |
| 1.4.1 Sistemas radiales | 2 |
| 1.4.2 Sistemas en anillo (bucle) | 3 |
| 1.4.3 Sistemas en lazo | 3 |
| 1.5 Sistema de generación eléctrica | 3 |
| 1.5.1 Generador síncrono..... | 4 |
| 1.6 Sistema de transmisión | 7 |
| 1.7 Sistema de subtransmisión | 8 |
| 1.8 Subestaciones eléctricas..... | 8 |

| | |
|--|----|
| 1.8.1 Sistema de juego de barras en subestaciones eléctricas | 8 |
| 1.9 Transformador de potencia. | 11 |
| 1.9.1 Tipos de enfriamiento | 11 |
| 1.9.2 Modelo del transformador monofásico real con dos devanados | 11 |
| 1.9.3 Transformador de potencia con 3 devanados | 12 |
| 1.9.4 Disyuntor o interruptor de potencia | 13 |
| 1.9.5 Seccionadores | 14 |
| 1.9.6 Relés o detectores de protección | 14 |
| 1.10 Líneas de subtransmisión..... | 14 |
| 1.11 Conductores..... | 14 |
| 1.11.1 Tipos de los conductores | 14 |
| 1.11.2 Parámetros de las líneas eléctricas | 15 |
| 1.12 Modelos de líneas eléctricas | 16 |
| 1.12.1 Líneas de longitud corta | 16 |
| 1.12.2 Líneas de longitud media | 17 |
| 1.12.3 Longitud larga | 17 |
| 1.13 Hilo de guarda | 18 |
| 1.14 Torres de subtransmisión | 19 |
| 1.14.1 Tipos de Torres..... | 19 |
| 1.14.2 Arreglo geométrico de las torres que operan en EMELNORTE..... | 19 |
| 1.15 Componentes simétricas | 22 |
| 1.15.1 Vector de giro “a” | 23 |
| 1.16 Programas para modelar Sistemas Eléctricos de Potencia | 23 |
| 1.16.1 Programa de análisis de redes eléctricas CYME | 23 |
| 1.16.2 DlgSILENT Power Factory | 25 |
| 1.16.3 Software ETAP | 25 |
| 1.16.4 PSS/E | 25 |
| 1.16.5 Power world | 25 |
| CAPÍTULO 2 | 26 |
| Modelación del sistema de subtransmisión de Emelnorte..... | 26 |
| 2.1 Introducción | 26 |
| 2.2 Descripción del sistema de subtransmisión de EMELNORTE | 26 |
| 2.2.1 Interconexión con el Sistema Nacional Interconectado..... | 27 |
| 2.2.2 Sistema de subtransmisión | 27 |

| | |
|--|----|
| 2.2.3 Líneas de subtransmisión..... | 27 |
| 2.2.4 Centrales de generación | 28 |
| 2.2.5 Redes primarias..... | 29 |
| 2.3 Software y materiales | 29 |
| 2.4 Base de datos. | 30 |
| 2.5 Creación de equipos..... | 30 |
| 2.5.1 Generadores síncronos | 31 |
| 2.5.2 Transformador de potencia con dos devanados | 33 |
| 2.5.3 Transformador de potencia con tres devanados | 34 |
| 2.5.4 Conductores | 36 |
| 2.5.5 Espaciamento de circuitos simples | 38 |
| 2.5.6 Espaciamento de circuito doble..... | 41 |
| 2.6 Espaciamento de circuito doble..... | 41 |
| 2.6.1 Interruptor automático | 43 |
| 2.6.2 Seccionadores | 44 |
| 2.7 Condensadores | 45 |
| 2.8 Cargar archivos a la base de datos | 47 |
| 2.8.1 Agregar subestaciones eléctricas | 49 |
| 2.9 Relés de sobrecorriente | 51 |
| 2.10 Agregar Centrales de Generación | 52 |
| 2.10.1 Líneas de transporte..... | 52 |
| 2.11 Conexión de subestaciones con la red de transporte..... | 54 |
| 2.12 Modelo del sistema de subtransmisión en Cymdist..... | 54 |
| CAPÍTULO 3 | 57 |
| Importación de datos y Análisis de resultados | 57 |
| 3.1 Introducción | 57 |
| 3.2 Importación de la red de Distribución a la red de Subtransmisión | 58 |
| 3.3 Conexión de Alimentadores con la red de Subtransmisión..... | 59 |
| 3.3.1 Subestaciones | 59 |
| 3.3.2 Centrales de generación | 61 |
| 3.4 Modelo del sistema de subtransmisión integrado con el sistema de distribución en media tensión..... | 62 |
| 3.5 Pruebas de cortocircuito..... | 65 |
| 3.5.1 Resultados en pruebas de cortocircuito..... | 66 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 3.5.2 Análisis de resultados..... | 70 |
| CONCLUSIONES | 71 |
| RECOMENDACIONES..... | 72 |
| REFERENCIAS | 73 |
| Anexo A..... | 76 |
| Anexo B..... | 77 |
| Anexo C | 78 |
| Anexo D.1 | 79 |
| Anexo D.2 | 80 |
| Anexo E..... | 81 |
| Anexo F | 87 |
| Anexo G | 90 |
| Anexo H | 96 |
| Anexo I | 104 |

Índice De Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Sistema Eléctrico de Potencia | 1 |
| Figura 2: Sistema de distribución radial | 2 |
| Figura 3: Sistema de distribución en anillo | 3 |
| Figura 4: Sistema de distribución en lazo | 3 |
| Figura 5: Circuito equivalente del generador sincrónico rotor cilíndrico | 5 |
| Figura 6: Diagrama fasorial despreciando la resistencia del estator o inducido | 5 |
| Figura 7: Diagrama fasorial despreciando la resistencia del estator o inducido | 6 |
| Figura 8: Sistema de barra simple | 9 |
| Figura 9: Sistema de barra principal y transferencia. | 9 |
| Figura 10: Sistema de barra interruptor simple..... | 10 |
| Figura 11: Sistema de barra en anillo | 10 |
| Figura 12: Circuito equivalente de un transformador de dos devanados | 11 |
| Figura 13: Relación de transformación de un transformador de dos devanados | 12 |
| Figura 14: Circuito equivalente de un transformador con 3 devanados | 13 |
| Figura 15: Modelo de una línea de longitud corta..... | 17 |
| Figura 16: Modelo de una línea de longitud mediana..... | 17 |
| Figura 17: Modelo de una línea de longitud larga..... | 18 |
| Figura 18: Torre de transmisión SPAN 900FT | 20 |
| Figura 19: Torre de transmisión SPAN 800 FT | 20 |
| Figura 20:: Torre de subtransmisión S1G | 21 |
| Figura 21: Torre de subtransmisión 600 FT | 21 |
| Figura 22: Torre de subtransmisión 300 FT | 22 |
| Figura 23: Sistemas simétricos de fasores de tensiones trifásicos..... | 23 |
| Figura 24: Bases de datos modeladas para Emelnorte..... | 30 |
| Figura 25: Generadores síncronos modelados para Emelnorte..... | 32 |
| Figura 26: Transformadores con dos devanados modelados para Emelnorte | 34 |
| Figura 27: Transformadores con tres devanados modelados para Emelnorte | 36 |
| Figura 28: Conductores modelados para Emelnorte | 38 |
| Figura 29: Vista previa estructura S1G | 40 |
| Figura 30: Espaciamiento de circuitos simples modelados para Emelnorte | 40 |
| Figura 31: Vista previa estructura S1G | 42 |
| Figura 32: Espaciamiento de circuito doble modelados para Emelnorte | 42 |
| Figura 33: Interruptores automáticos modelados para Emelnorte | 44 |

| | |
|--|-----|
| Figura 34: Seccionadores modelados para Emelnorte..... | 45 |
| Figura 35: Condensadores modelados para Emelnorte | 47 |
| Figura 36: Puntos georreferenciados del sistema de subtransmisión de Emelnorte | 48 |
| Figura 37: Modelado de equipos de la subestación Pomasqui. | 50 |
| Figura 38: Propiedades del tramo Ibarra-UNACEM | 53 |
| Figura 39: Modelo del tramo UNACEM georreferenciado | 53 |
| Figura 40: Vista imbricada S/E Ibarra | 54 |
| Figura 41: Diagrama unifilar de la subestación Alpachaca modelada en Cymdist | 54 |
| Figura 42: Diagrama unifilar de la central La Playa | 55 |
| Figura 43: Modelo del sistema de subtransmisión de Emelnorte en Cymdist | 56 |
| Figura 44: Procedimiento para la importación de datos | 58 |
| Figura 45: Ventana importar base de datos | 58 |
| Figura 46: Ventana de aviso de importación..... | 59 |
| Figura 47: Conexión de la subestación La Esperanza con sus alimentadores..... | 59 |
| Figura 48: Diagrama unifilar modelado de la subestación Ibarra. | 63 |
| Figura 49: Sistema de subtransmisión integrado con el sistema de distribución de Emelnorte | 64 |
| Figura 50: Ventana Cortocircuito IEC 60909 | 65 |
| Figura 51: Cuadro de cortocircuito para la barra 1 de la subestación La Esperanza. | 65 |
| Figura 52: Resultados de prueba de cortocircuito realizada a la subestación La Esperanza ... | 66 |
| Figura 53: Partes de la ventana principal de Cymdist | 104 |
| Figura 54: Pantalla de mensajes y reportes..... | 106 |
| Figura 55: Ventana barra de herramientas | 106 |
| Figura 56: Modelo de representación de Cymdist | 107 |
| Figura 57: Ventana Modo Base de datos..... | 107 |
| Figura 58: Ventana de Configuración de la base de datos creada | 108 |
| Figura 59: Ventana para Agregar red..... | 109 |
| Figura 60: Tipos de generadores en Cymdist..... | 110 |
| Figura 61: Ventana Generador síncrono..... | 110 |
| Figura 62: Ventana principal del transformador con dos devanados | 111 |
| Figura 63: Ventana de Transformador con tres devanados | 112 |
| Figura 64: Ventana de Conductor | 113 |
| Figura 65: Ventana de Seccionador..... | 114 |
| Figura 66: Ventana de Condensador shunt | 114 |
| Figura 67: Ventana de relé de sobrecorriente..... | 115 |
| Figura 68: Tipos de espaciamientos entre conductores | 116 |

| | |
|--|-----|
| Figura 69: Ventana principal de Espaciamiento de circuitos simples | 116 |
| Figura 70: Configuración de torres..... | 117 |
| Figura 71: Ventana de coordenadas | 117 |
| Figura 72: Barra de Mapa de fondo | 118 |
| Figura 73: Ventana Localizar | 118 |
| Figura 74: Ventana de propiedades de tramo..... | 119 |
| Figura 75: Propiedades de red | 120 |
| Figura 76: Propiedades de tramo..... | 121 |
| Figura 77. Ventana del relé de sobrecorriente..... | 121 |
| Figura 78: Ventana Conectar | 122 |

Índice De Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Voltajes típicos de Sistemas Eléctricos en Ecuador | 2 |
| Tabla 2: Nombre genérico de las centrales según su fuente de energía..... | 4 |
| Tabla 3: Características de la torre SPAN 900FT | 20 |
| Tabla 4: Características de la torre SPAN 800 FT | 20 |
| Tabla 5: Características de la torre S1G | 21 |
| Tabla 6: Características de la torre 600 FT | 21 |
| Tabla 7: Características de la torre 300 FT | 22 |
| Tabla 8: Formatos de archivos disponibles en Cymdist | 24 |
| Tabla 9: Subestaciones de distribución de Emelnorte | 27 |
| Tabla 10: Líneas de transporte de subtransmisión de Emelnorte | 28 |
| Tabla 11: Centrales de generación de Emelnorte | 28 |
| Tabla 12: Características eléctricas del generador 1 de la subestación El Ambi. | 31 |
| Tabla 13: Parámetros para la creación del generador G1 El Ambi | 31 |
| Tabla 14: Características eléctricas del transformador de la subestación Ajaví | 33 |
| Tabla 15: Parámetros para la creación del transformador T1 de la subestación Ajaví | 33 |
| Tabla 16: Características eléctricas de los transformadores con 3 devanados. | 35 |
| Tabla 17: Características eléctricas del transformador con 3 devanados de la subestación Alpachaca | 35 |
| Tabla 18: Parámetros para la creación del transformador con 3 devanados – Alpachaca | 35 |
| Tabla 19: Características del conductor utilizado para el tramo Pomasqui - Ibarra | 37 |
| Tabla 20: Características eléctricas del conductor Hawk | 37 |
| Tabla 21: Parámetros para la creación de Conductores | 37 |
| Tabla 22: Parámetros para la creación de espaciamientos del circuito simple S1G | 39 |
| Tabla 23: Coordenadas de conductores estructura S1G | 39 |
| Tabla 24: Parámetros para la creación del espaciamiento simple AS900FT | 41 |
| Tabla 25: Coordenadas de conductores | 41 |
| Tabla 26: Características eléctricas del interruptor G2 de la subestación Cayambe | 43 |
| Tabla 27: Parámetros para la creación del interruptor 2 de la subestación Cayambe | 43 |
| Tabla 28: Características eléctricas del Seccionador 89HL | 44 |
| Tabla 29: Parámetros para la creación del seccionador 89HL..... | 45 |
| Tabla 30: Características eléctricas de los condensadores de Emelnorte..... | 46 |
| Tabla 31: Características eléctricas del condensador 1 de la subestación La Esperanza | 46 |
| Tabla 32: Parámetros para la creación del condensador 1 de la S/E La Esperanza | 46 |
| Tabla 33: Coordenadas de las subestaciones eléctricas. | 49 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 34: Parámetros para la creación de una vista imbricada de la subestación Pomasqui.... | 50 |
| Tabla 35: Características eléctricas del condensador shunt de la subestación la esperanza.... | 51 |
| Tabla 36: Parámetros para la creación de un relé de sobrecorriente | 51 |
| Tabla 37: Coordenadas de los centros de generación que operan en Emelnorte | 52 |
| Tabla 38: Nomenclatura de alimentadores de las subestaciones de distribución. | 60 |
| Tabla 39: Numero de alimentador de los centros de generación..... | 62 |
| Tabla 40: Resultados de cortocircuito para fallas trifásicas..... | 67 |
| Tabla 41: Resultado de cortocircuito para fallas monofásicas | 68 |
| Tabla 42: Comandos disponibles en la barra de menús principal | 104 |
| Tabla 43: Comandos de la barra de herramientas | 105 |
| Tabla 44: Comandos de la barra de exploración | 105 |
| Tabla 45: Parámetros para la creación de una subestación eléctrica..... | 109 |
| Tabla 46: Parámetros para la creación de un generador síncrono | 110 |
| Tabla 47: Parámetros para la creación de un transformador con dos devanados | 111 |
| Tabla 48: Parámetros para la creación de un transformador con tres devanados | 112 |
| Tabla 49: Parámetros para la creación de un conductor | 113 |
| Tabla 50: Parámetros para la creación de un condensador tipo shunt..... | 115 |
| Tabla 51: Parámetros eléctricos para la creación de un relé | 115 |
| Tabla 52: Parámetros para la designación de tramos | 119 |
| Tabla 53: Parámetros para crear un relé de sobrecorriente..... | 122 |

RESUMEN

El presente trabajo de grado tiene como objetivo modelar el sistema de subtransmisión en el programa de análisis de redes eléctricas Cymdist, esto con el fin de integrarlo al sistema de distribución en media tensión de la empresa eléctrica Emelnorte. En la introducción se establecen los antecedentes, la importancia de la modelación de sistemas eléctricos en una empresa eléctrica y la justificación del trabajo. En el primer capítulo se presentan las definiciones de un sistema eléctricos de potencia; la estructura del mismo desde la generación de la energía eléctrica hasta llegar al consumidor; también se detalla la representación esquemática de cada equipo y red eléctrica, junto a su modelo matemático, así como también una definición sobre los programas de análisis más importantes utilizados en las empresas eléctricas para la planificación de redes. En el segundo capítulo se detalla los pasos que se utilizaron para modelar el sistema de subtransmisión partiendo desde la creación de una nueva la base de datos, la creación de equipos del sistema eléctricos tales como centrales de generación, transformadores, conductores, seccionadores, disyuntores y condensadores terminando con la creación de vistas imbricadas de subestaciones eléctricas, incluida la configuración de sus respectivos relés de sobrecorriente, así como también las centrales de generación conectadas al sistema de subtransmisión y distribución. En el tercer capítulo se realiza la integración del sistema de subtransmisión base con el sistema de distribución, tomando como referencia la base de datos de diciembre de 2018 tomada de la migración de la información de ArcGIS. También se realizaron pruebas de cortocircuito para comparar los datos obtenidos en la modelación creada, con los datos que Emelnorte dispone del software DigSILENT. Finalmente, en el Anexo I se presenta un manual de procedimientos para la creación de equipos de un sistema eléctrico de potencia.

Palabras Claves

EMELNORTE: Empresa Electrica Regional del Norte

MEER: Ministerio Electricidad y Energías Renovables

CELEC EP/ Transelectric: Corporación Eléctrica del Ecuador

ARCONE: Agencia de Regulación y Control de Electricidad

SNI: Sistema Nacional Interconectado

ABSTRACT

The objective of this work is to model the subtransmission system in the Cymdist electrical network analysis program, in order to integrate it into the medium voltage distribution system of the Emelnorte electric company. The introduction establishes the background, the importance of the modeling of electrical systems in an electricity company and the justification for the work. In the first chapter the definitions of an electrical power system are presented; the structure of the same from the generation of electric power to the consumer; The schematic representation of each equipment and electrical network is also detailed, together with its mathematical model, as well as a definition of the most important analysis programs used in electricity companies for network planning. The second chapter details the steps that were used to model the subtransmission system starting from the creation of a new database, the creation of electrical system equipment such as generation plants, transformers, conductors, disconnectors, circuit breakers and condensers ending with the creation of imbricated views of electrical substations, including the configuration of their respective overcurrent relays, as well as the generation plants connected to the subtransmission and distribution system. In the third chapter, the integration of the base subtransmission system with the distribution system is performed, taking as a reference the database of December 2018 taken from the migration of the ArcGIS information. Short-circuit tests were also performed to compare the data obtained in the modeling created, with the data that Emelnorte has the DigSILENT software. Finally, in the Annexed I is presents a manual of procedures for the creation of equipment for a power electrical system.

A1. Introducción

La modelación de un sistema eléctrico es un tema de gran interés para toda empresa de distribución, ya que permite mantener la confiabilidad en el sistema, mejora la eficiencia y ayuda a tomar decisiones. (Arguello, 2012) afirma: “La modelación del Sistema Eléctrico de Potencia es la base esencial para estudiar y analizar su comportamiento, tanto en condiciones normales como en situaciones de emergencia” (pg. 4).

La planeación adecuada, la operación y el control de estos sistemas a gran escala, dentro de la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, requieren de técnicas computacionales avanzadas en la que los ingenieros de las empresas distribuidoras, tienen como reto estudiar, conocer y entender de forma que puedan prepararse adecuadamente en el diseño de futuros sistemas de potencia y se logre suministrar cantidades crecientes de energía eléctrica de manera segura, limpia y económica. (Stevenson, 1996)

Para ello, las empresas optan por el uso de la tecnología como programas, softwares y simuladores fuertemente equipados, dado que les permite modelar, planificar, conocer y controlar la operación de los sistemas eléctricos de potencia. (Torres, 2013) establece la importancia de la implementación de equipos inteligentes en los sistemas eléctricos, que permitan administrar de forma óptima la red de distribución; esto con el fin de que cumplan con la misión de una empresa eléctrica distribuidora, que es la de brindar un servicio de energía eléctrica de calidad.

(Ducan J, 2012) del mismo modo, hace énfasis en la importancia de los softwares de simulación y refiere a la forma en la que varias empresas eléctricas de EE. UU. modelan los sistemas eléctricos con el simulador Powerworld, el cual es un paquete de software para análisis y simulación de sistemas de potencia, que ayudan a los ingenieros en la planificación de los sistemas de potencia, programas fuertemente desarrollados que incluyen flujos de potencia, estabilidad, cortocircuitos y regímenes transitorios.

Para Guatemala y Chile algunas empresas eléctricas optan por modelar su sistema en el uso del software libre PSTA, basados en el concepto de libre acceso. Según (Carrillo, 2009): “Los análisis de redes implican marcos específicos, que se orienten a la utilidad del software de libre acceso, como alternativa a los estudios de estabilidad del sistema de potencia.”

En Ecuador a nivel nacional el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables mediante el programa SIGDE (Sistema Integral de Gestión de Distribución Eléctrica), proyecto orientado a definir e implantar un modelo único de gestión para las empresas de distribución eléctrica

(ED's), sustentado en estándares de la industria eléctrica y de comunicaciones; que permita tener servicios de calidad, con eficiencia operativa y energética y con una cultura enmarcada en el compromiso de la sustentabilidad y sostenibilidad social, económica y ambiental. (MEER, 2010), ha implementado en las empresas de distribución la tecnológica necesaria para modernizar los sistemas de análisis técnicos mediante la homologación del software de distribución CYME.

Para dar cumplimiento al programa SIDGE la empresa eléctrica Emelnorte dentro de la Dirección de Planificación, ha adquirido los programas de análisis de redes eléctricas CYME (Power Engineering Solutions), en los que se incluyen varios módulos tales como: CYMTCC para la coordinación de los dispositivos de protección, CYMDIST para el análisis de redes a nivel de alimentadores primarios, CYMFLOW para flujos de potencia de sistemas de subtransmisión, CYMFAULT para análisis de cortocircuitos, CYMHARMO y CYMESTAB para estudios de armónicos y estabilidad dinámica respectivamente, todo estos instalados en un servidor ubicado en la dirección de TIC's los mismos que son utilizados para modelar los sistemas eléctricos de EMELNORTE de forma que a través de la aplicación de estos módulos, se logre integrar su sistema eléctrico

A2. Planteamiento del problema

En el programa de análisis de redes de distribución Cymdist que Emelnorte dispone en la actualidad, se encuentra modelado únicamente el sistema de distribución en media tensión, mientras que el sistema de subtransmisión, aún no ha sido equiparado técnicamente, dado que se encuentra modelado en una plataforma distinta al sistema de distribución, enlazados a través de equivalentes de red.

El método de análisis dividido que Emelnorte realiza, dificulta realizar estudios de planificación, diseño y protección, de forma que la empresa no puede realizar evaluaciones precisas de: cortocircuitos, flujos de potencia, distribución de carga, comprobación del correcto seteo de los elementos de protección y el análisis del comportamiento de varios parámetros de operación tales como niveles de tensión y pérdidas de energía.

Ante ello, se establece la importancia de unificar los dos sistemas, así como lo establece (Ramirez, 2003), el análisis en conjunto de los dos sistemas: distribución y subtransmisión permite un mejoramiento en el proceso para la expansión y mejoramiento de un sistema eléctrico, en la que se da importancia al crecimiento de la carga.

El Problema

¿Cómo establecer una metodología para modelar el sistema de subtransmisión e integrarlo al sistema de distribución mediante la utilización del software de simulación Cymdist de Emelnorte?

A3. Alcance

Para realizar la modelación, se tomarán los datos del sistema de subtransmisión de Emelnorte y se realizará la implementación en el programa Cymdist. El sistema se encuentra dividido en 3 zonas: norte, centro y sur; es radial y está compuesto por 15 subestaciones de distribución con una capacidad instalada de 162,5 MVA; 14 centrales de generación entre propias y privadas con una capacidad de 43,7 MVA; 2 líneas de transmisión que parten de la subestación Pomasqui - Ibarra e Ibarra – Tulcán Trans; 18 líneas de subtransmisión a 69 kV con una longitud de 256,11 km y 2 líneas de subtransmisión a 34,5 kV con una extensión de 17,52 km, estas últimas para evacuar la generación de las centrales hidráulicas Ambi y San Miguel de Car.

A4. Justificación del trabajo

Emelnorte requiere unificar la modelación de su sistema eléctrico de distribución y subtransmisión, ya que por el momento la empresa realiza el modelamiento de los dos sistemas en plataformas distintas: el sistema de subtransmisión en el programa DigSilent y el de distribución en Cymdist, situación que no permite realizar un análisis técnico de forma integral.

Por lo que se requiere unificar dichos sistemas para determinar el comportamiento de varias operaciones, crear una base de datos del sistema de subtransmisión mediante la importación y actualización mensual de datos, determinando el formato y tipo de archivo más conveniente, crear un manual de procedimientos en el cual se detalle los pasos adecuados para la creación e importación de este tipo de información y realizar un análisis técnico para representar adecuadamente los elementos eléctricos tales como: generadores, transformadores, líneas de transmisión, líneas de subtransmisión y elementos de protección.

A5. Viabilidad del trabajo

Emelnorte en los últimos años ha adquirido licencias adicionales para la modelación del sistema eléctrico, que incluyen líneas de transmisión, subtransmisión y subestaciones, módulos que se complementan con el software Cymdist para la modelación de redes de distribución, estos se encuentran instalados en su centro de cómputo y a los cuales se accederá para realizar el

presente trabajo de grado mediante permisos de conexión otorgados por la Dirección de TICs de la empresa eléctrica.

Del mismo modo se dispone de todos los datos necesarios del sistema como diagramas unifilares, datos eléctricos actuales y la proyección de la demanda, también se dispone de los equipos necesarios, transporte y el conocimiento profesional de quienes trabajan en la Dirección de Planificación de la empresa eléctrica, enmarcados al convenio de cooperación institucional en el que se establece el compromiso entre la Universidad Técnica del Norte y Emelnorte S.A., para apoyar el diseño y la implementación de trabajos de investigación que sirvan para el fortalecimiento y desarrollo del país.

A6. Objetivo general

- Modelar el sistema de subtransmisión e integrarlo al sistema de distribución en una sola plataforma mediante la utilización del software de simulación CYMDIST de Emelnorte.

A7. Objetivos específicos

- Diagnosticar la información referente a los elementos del sistema de subtransmisión.
- Modelar el sistema de subtransmisión en Cymdist.
- Integrar las bases de datos de los sistemas de subtransmisión y distribución.
- Elaborar un manual de procedimientos referente a la creación de equipos para un sistema de subtransmisión.

CAPÍTULO 1

Marco Teórico

1.1 Introducción

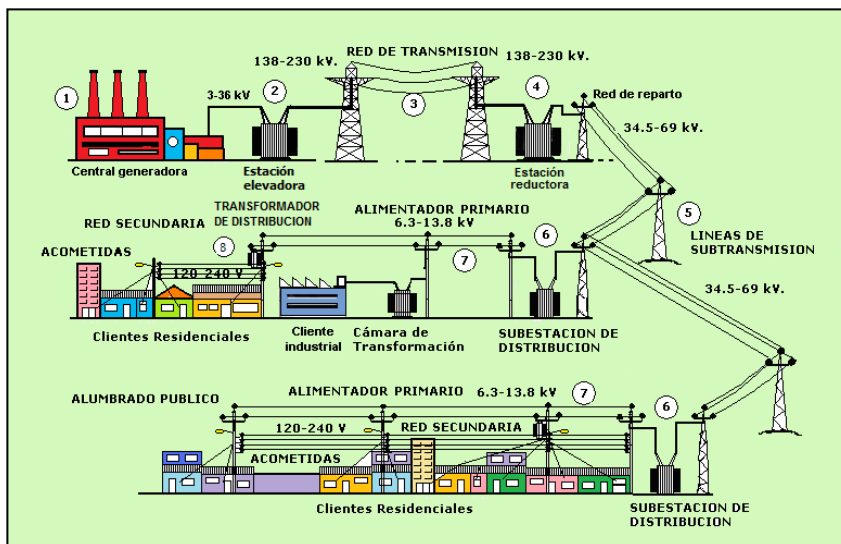
El análisis de las ciencias de ingeniería comienza con la formulación de modelos adecuados y en lo que respecta a un Sistema Eléctrico de Potencia, necesariamente significa un modelo matemático, que no es más que un conjunto de ecuaciones o relaciones que describe adecuadamente el comportamiento de un componente en un sistema en distintas condiciones. (Vanfretti, 2005). En este capítulo se detalla las definiciones más importantes del Sistema Eléctrico de Potencia y se presenta la modelación matemática de los componentes y redes.

1.2 Sistema Eléctrico de Potencia

Dependiendo de la forma de generación, ya sea por la geografía o ubicación de las fuentes de abastecimiento, rara vez se ubican las centrales generadoras cerca de los consumidores. Esto obliga a construir uniones eléctricas que dan origen a redes que pueden ser bastantes complicadas denominadas Sistemas Eléctricos de Potencia.

(Walter Brokering, 2008) la define como el conjunto de instalaciones que permiten generar, transportar y distribuir la energía eléctrica en condiciones adecuadas de voltaje, frecuencia y continuidad. En la figura 1 se puede observar de forma detallada la estructura de un sistema:

Figura 1: Sistema Eléctrico de Potencia



Generación

1 - Central generadora

Transmisión

2 - Estación Elevadora

3 - Líneas de Transmisión

4 - Estación Reductora

Distribución

5 - Líneas de Subtransmisión

6 - Subestaciones de distribución

7 - Líneas de distribución

8 - Transformadores de distribución

- Acometidas y medidores

- Alumbrado público

- Clientes

Fuente: Internet

1.3 Niveles de voltaje

Las diferentes etapas del sistema eléctrico (generación, transmisión, subtransmisión y distribución) utilizan diferentes niveles de voltaje, donde generalmente el nivel de voltaje más elevado se encuentra en el sistema de transmisión, que parten desde la generación y decrece conforme avanza hacia la distribución. En el Ecuador, de acuerdo con la Regulación ARCONEL 004/18, la Agencia de Regulación y Control de Electricidad ha determinado los siguientes niveles de voltaje detallados en la tabla 1.

Tabla 1: Voltajes típicos de Sistemas Eléctricos en Ecuador

| | |
|------------------------------|--|
| Bajo voltaje: | Voltaje menor igual a 0,6 kV; |
| Medio voltaje: | Voltaje mayor a 0,6 y menor igual a 40 kV; |
| Alto voltaje grupo 1: | Voltaje mayor a 40 y menor igual a 138 kV; |
| Alto voltaje grupo 2: | Voltaje mayor a 138 kV |

Fuente: (ARCONEL, 2008)

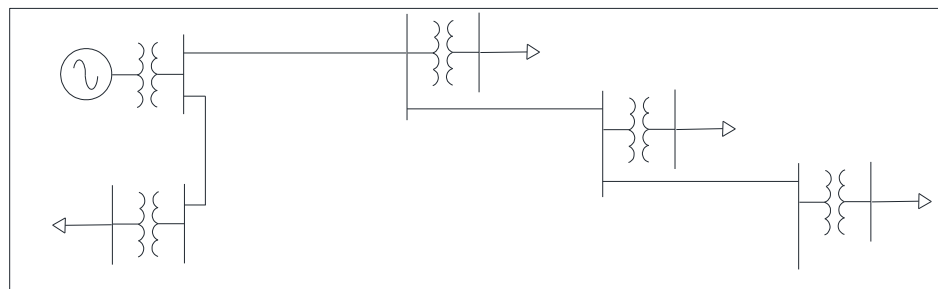
1.4 Topología de las redes eléctricas

La topología de una red depende del nivel de confiabilidad que se requiere al tratar de abastecer de energía a todos los puntos de consumo. Una red sencilla es más económica y más fácil de operar, pero no ofrece confiabilidad; cuanto mayor es el nivel de continuidad de suministro de energía que se requiere, mayor debe ser la complejidad de la red.

1.4.1 Sistemas radiales

Se caracteriza por tener una sola fuente de alimentación. Se trata de la red más sencilla y cualquier maniobra en caso de mantenimiento o avería es extremadamente fácil de ejecutar, sin embargo, un corte de suministro de energía en una parte de la red, supone una interrupción del suministro aguas abajo del elemento de maniobra. La figura 2 representa el diagrama unifilar de un sistema radial:

Figura 2: Sistema de distribución radial

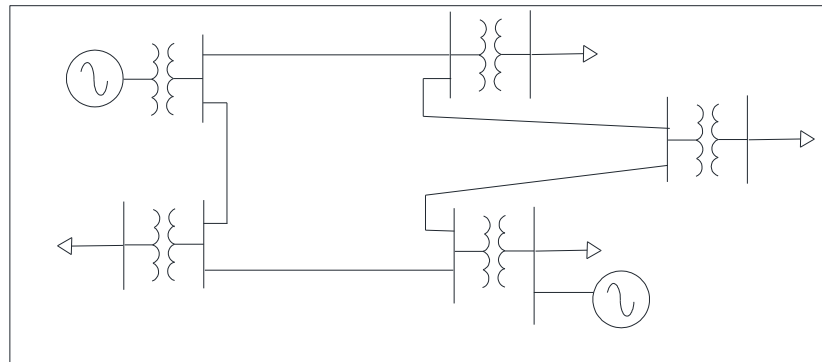


Fuente: Autor

1.4.2 Sistemas en anillo (bucle)

Posee doble alimentación como se observa en la figura 3, ya que tiene dos o tres fuentes conectadas en paralelo mediante líneas continuas. Es de mayor costo y es más complejo, pero asegura la continuidad de servicio en caso de ocurrir una falla.

Figura 3: Sistema de distribución en anillo

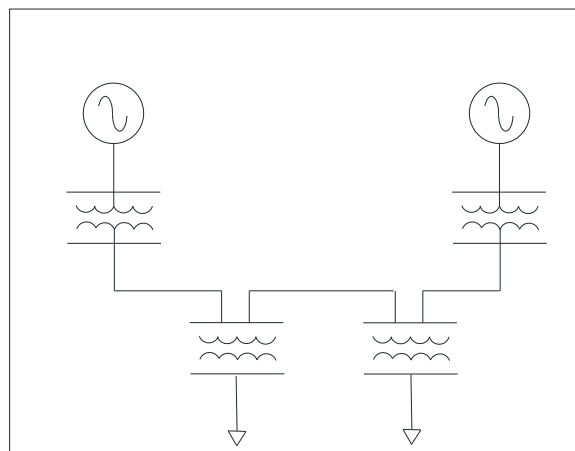


Fuente: Autor

1.4.3 Sistemas en lazo

Todas las líneas forman anillos y se forma una estructura similar a una malla. Es el sistema más confiable, aunque también es de mayor costo. Cualquier punto sobre la línea tiene servicio desde dos direcciones como se muestra en la figura 4.

Figura 4: Sistema de distribución en lazo



Fuente: Autor

1.5 Sistema de generación eléctrica

Básicamente consiste en transformar una fuente de energía (solar, química, potencial) en energía eléctrica. (Brokering, 1992) define a un sistema de generación eléctrica, a todos los

equipos que una planta necesita para transformar energía mecánica en energía eléctrica, tales como generadores síncronos, motores e inclusive su área civil. La característica de una central de generación depende de la fuente de energía que hace girar su turbina, ésta da el nombre de la central; en la tabla 2 se presentan las más importantes

Tabla 2: Nombre genérico de las centrales según su fuente de energía.

| FUENTE DE ENERGÍA | NOMBRE DE LA CENTRAL |
|-------------------|---------------------------------------|
| Caída de agua | Hidráulica |
| Combustible | Combustión Interna |
| Vapor de agua | Térmica |
| Solar | Solar o Helio Térmicas, Fotovoltaicas |
| Viento | Eólica |
| Fisión Nuclear | Nucleares |
| Marea | Mareomotrices |
| Geotérmicas | Geotérmicas |

Fuente: Autor

El tipo de generador con el que cada central trabaja depende de la forma que obtiene la energía, sin embargo, el de mayor uso es el generador síncrono debido a que permite controlar la tensión de la red y la energía reactiva que inyecta a la misma. (Garcia, 2014)

1.5.1 Generador síncrono

Es una maquina síncrona que convierte la potencia mecánica en potencia eléctrica de CA y produce energía de acuerdo a la demanda. Tiene un rotor y un estator de material tipo ferromagnético.

El estator posee ranuras longitudinales donde se encuentran los devanados de armadura alimentados con corriente CA y el rotor que posee devanados de campo alimentados con corriente de CD. (Chapman, 2012).

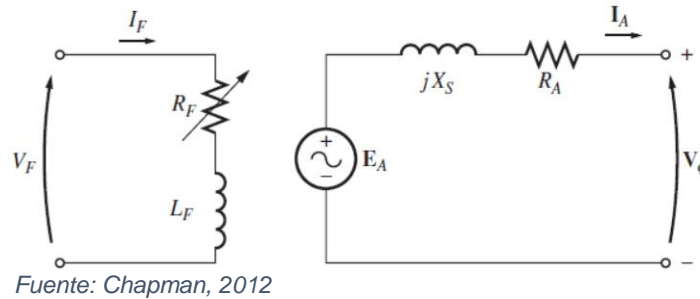
Consiste en un campo magnético que gira alrededor de tres bobinas ubicadas en el estator y desfasadas 120° , el giro es producido por la adecuación de una fuente de energía mecánica; este campo magnético giratorio hace que se induzca un voltaje en los bobinados ubicados en el estator que al conectarlos a una carga (equipos eléctricos), hace que suministre corriente y por ende energía eléctrica.

Existen dos tipos de generadores síncronos: rotor cilíndrico y rotos de polos salientes.

i. Rotor cilíndrico

Los devanados están distribuidos en unas pequeñas ranuras del rotor y se utiliza esta configuración para maquinas con alta resistencia mecánica y velocidades altas. La representación del circuito equivalente se presenta en la figura 5.

Figura 5: Circuito equivalente del generador síncrono rotor cilíndrico



Dónde:

V_f : Voltaje de campo

I_f : Corriente de campo

R_f : Resistencia de Campo

L_f : Inductancia de Campo

E_A : Voltaje interno del generador síncronico

X_s : Reactancia sincrónica

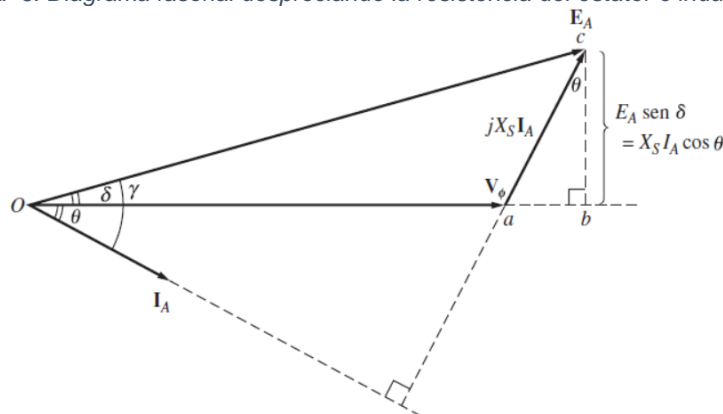
R_A : Resistencia del estator

I_A : Corriente de la fase A

V_ϕ : Voltaje de fase

Si se omite la resistencia R_A del circuito equivalente, y se dibuja el diagrama fasorial del generador conectado a una carga con un factor de potencia en adelante se tiene el diagrama de la figura 6.

Figura 6: Diagrama fasorial despreciando la resistencia del estator o inducido



De la figura se puede apreciar que:

$$X_s * I_A * \cos \theta = E_A * \sin \delta$$

$$3 * V_\phi * X_s * I_A * \cos \theta = 3 * V_\phi * E_A * \sin \delta \quad (\text{Multiplicando a los dos lados de la ecuación por } 3V_\phi)$$

$$3 * V_\phi * I_A * \cos \theta = \frac{3 * V_\phi * E_A}{X_s} * \sin \delta$$

$$P_{sal} = \frac{3 * V_\phi * E_A}{X_s} * \sin \delta$$

Fórmula # 1

Dónde:

P_{sal} : Potencia de salida del generador sincrónico

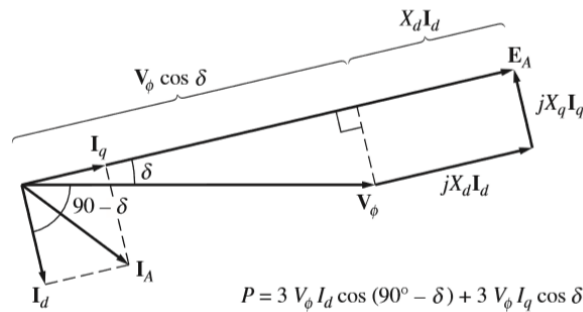
δ : Ángulo interno del generador sincrónico

X_s : Reactancia sincrónica

ii. Polos salientes

Los devanados del rotor están concentrados sobre los polos del circuito magnético. Se usan este tipo de máquinas en circuitos con poca exigencia de resistencia mecánica del rotor, es decir, máquinas con bajas velocidades. En una máquina de rotor cilíndrico se desprecian los efectos que provocan las protuberancias de los rotores, se pasa por alto el efecto de los pares de la reluctancia. La figura 7 muestra el diagrama fasorial para determinar la potencia de salida de un generador con polos salientes tomando en cuenta dichas protuberancias:

Figura 7: Diagrama fasorial despreciando la resistencia del estator o inducido



Fuente: Chapman, 2012

Dónde:

X_d : Reactancia del eje directo

I_d : Corriente del eje directo

E_A : Voltaje interno del generador

X_q : Reactancia del eje de cuadratura

I_q : Corriente del eje de cuadratura

I_A : Corriente del inducido

V_ϕ : Voltaje en el estator

De la figura se establece que la potencia de salida de un generador síncrono, es igual a la suma de la potencia debido a la corriente del eje directo más la potencia debido a la corriente del eje en cuadratura:

$$P = P_d + P_q$$

$$P = 3V_\phi I_d \cos(90 - \delta) + 3V_q I_q \cos \delta$$

$$P = 3V_\phi I_d \sin \delta + 3V_q I_q \cos \delta$$

Mientras que la corriente del eje directo está dada por:

$$I_d = \frac{E_A - V_\phi \cos \delta}{X_d} \quad \text{Fórmula \# 2}$$

Y la corriente de cuadratura:

$$I_q = \frac{V_\phi \sin \delta}{X_q} \quad \text{Fórmula \# 3}$$

Reemplazando las ecuaciones 3 y 4 en 2 se obtiene:

$$P = 3V_\phi \left(\frac{E_A - V_\phi \cos \delta}{X_d} \right) \sin \delta + 3V_q \left(\frac{V_\phi \sin \delta}{X_q} \right) \cos \delta$$

$$P = \frac{3V_\phi E_A}{X_d} \sin \delta + 3V_\phi^2 \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin \delta \cos \delta \quad \text{Fórmula \# 4}$$

Puesto que $\sin \delta \cos \delta = 1/2 \sin 2\delta$, la expresión se reduce a:

$$P = \frac{3V_\phi E_A}{X_d} \sin \delta + \frac{3V_\phi^2}{2} \left(\frac{X_d - X_q}{X_d X_q} \right) \sin 2\delta \quad \text{Fórmula \# 5}$$

El primer término corresponde a la potencia de una maquina con rotor cilíndrico, mientras que el segundo término corresponde a la potencia adicional por efecto de la reluctancia de una maquina con polos salientes.

1.6 Sistema de transmisión

Los sistemas de transmisión conectan las centrales de generación a los grandes centros de consumo. En definición, un sistema de transmisión transporta la energía eléctrica de una central de generación a un sistema de distribución y finalmente termina en cada una de las cargas.

Para realizar este proceso se requiere de altos niveles de voltaje de forma que se reduzca las pérdidas por caída de tensión en las líneas debido a largas distancias. (El Hawary, 2008)

En Ecuador el sistema de transmisión opera con niveles de voltaje que van de 500 a 138kV, por su parte Emelnorte cuenta con un sistema de subtransmisión a 69 kV que se conecta con el punto de interconexión en las subestaciones Ibarra y Tulcán pertenecientes al transmisor CELEC TRANSELECTRIC E.P., mismas que están alimentadas desde la subestación reductora Pomasqui a 138kV.

1.7 Sistema de subtransmisión

Son los elementos, equipos e instalaciones que permiten abastecer de energía eléctrica a un área de concesión específica, se encuentra definido territorialmente y permite conectar las subestaciones de distribución. (uOttawa, 2006).

1.8 Subestaciones eléctricas

Con el fin de transportar la energía eléctrica generada por una central hacia las cargas es indispensable modificar los niveles de voltaje de acuerdo con las necesidades del sistema. Este proceso se realiza en las subestaciones eléctricas ubicadas debidamente en el sistema. (Núñez, 2015) define a una subestación como aquella que forma parte de los nudos de las redes eléctricas, donde un conjunto de dispositivos eléctricos transforma el nivel de voltaje, el número de fases o la conexión de dos a más circuitos con el fin de facilitar el transporte y distribución de la energía eléctrica.

Existen diversas formas de clasificar a una subestación, en cuanto a la función que realiza se tiene: *Elevadoras* que aumentan el nivel de voltaje para transportar la energía eléctrica a grandes distancias y evitar las pérdidas por efecto Joule; *Reductoras* que reducen el nivel de voltaje de transmisión a un nivel de distribución y *Distribución* que entregan energía eléctrica al usuario a través de alimentadores.

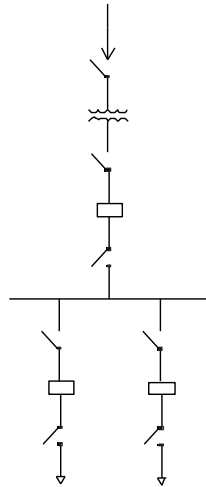
1.8.1 Sistema de juego de barras en subestaciones eléctricas

Para conectar los diferentes sistemas eléctricos, se utilizan diferentes tipos de juegos de barras, donde cada arreglo está determinado por el tipo, características del sistema y la función que realizan en la subestación. La clasificación por el tipo de barras es: (Núñez, 2015)

i. Barra Simple

Las líneas y los transformadores se conectan a una única barra como lo muestra la figura 8. Es el esquema más simple y más económico. Sin embargo, para realizar el mantenimiento es necesario sacar de servicio a todos los alimentadores.

Figura 8: Sistema de barra simple

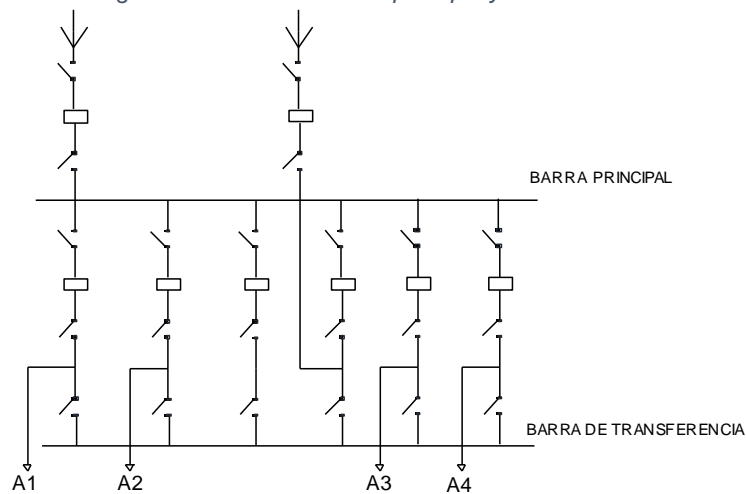


Fuente: Autor

ii. Barra principal y barra de transferencia

Se mantiene la barra de trabajo o principal y se incrementa una barra de paso que sirve a todas las posiciones. Al incrementar la barra, se posibilita la reparación de cualquier posición manteniendo sus protecciones y se eleva el grado de confiabilidad. La figura 9 representa su diagrama unifilar:

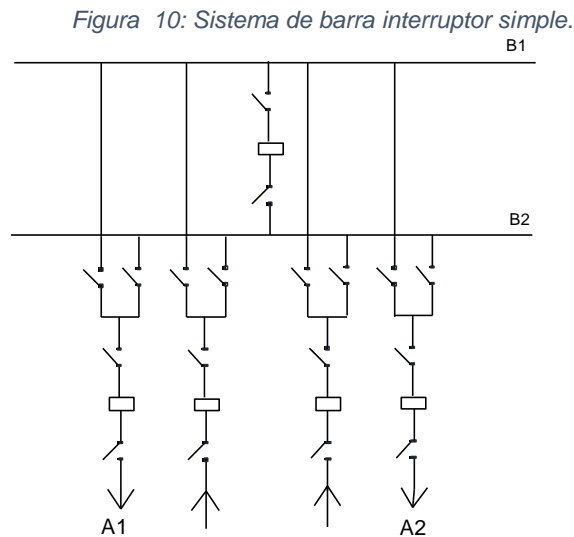
Figura 9: Sistema de barra principal y transferencia.



Fuente: Autor

iii. Doble barra – interruptor simple

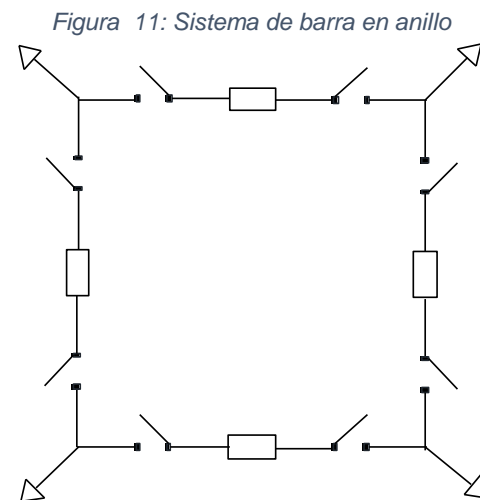
Posee dos barras que permite realizar el mantenimiento en cada una de las entradas y salidas de las líneas de transporte de energía y un interruptor que conecta a las dos barras para transferencias, para energizar la barra B1 o la barra B2, como se presenta en la figura 10.



Fuente: Autor

iv. Anillo

La figura 11 es la representación del sistema en anillo, es un sistema muy confiable ya que permite realizar el mantenimiento sin interrumpir el servicio.



Fuente: Autor

1.9 Transformador de potencia.

Es el elemento más importante de una subestación y se encarga de convertir el nivel de voltaje de entrada en otro diferente, ya sea elevándolo o reduciéndolo. (Alcantar, 2014) define al transformador como una maquina eléctrica estática que transfiere la energía de un circuito a otro y modifica los parámetros de voltaje y corriente por medio de la inducción en sus bobinas.

1.9.1 Tipos de enfriamiento

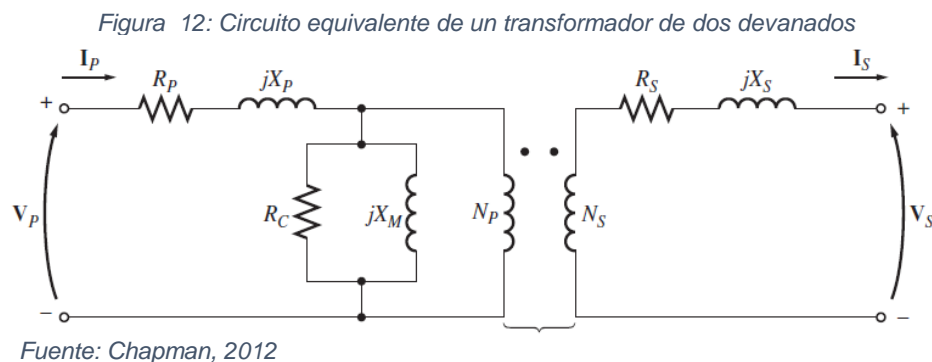
Existen diversos métodos utilizados para realizar el enfriamiento del transformador, entre los importantes están:

ONAN: se encuentra sumergido en aceite aislante con refrigeración natural y utiliza la convección natural.

ONAF: sumergido en aceite aislante con refrigeración forzada, para ello se utiliza ventiladores de forma que se aumente la capacidad de disipación del calor.

1.9.2 Modelo del transformador monofásico real con dos devanados

Debido al principio de funcionamiento propio de un transformador y el paso de la corriente eléctrica a través de una bobina, se originan pérdidas en el núcleo ferromagnético, pérdidas en los conductores, entre otros. Para la modelación de un transformador estas pérdidas se descartan por ser de menor magnitud y llegar a un modelo general y sencillo sin alejarse de la realidad. La figura 12 muestra el modelo de transformador considerando todos los parámetros eléctricos:



Dónde:

I_p : Corriente en el lado primario

R_p : Resistencia del devanado primario

jX_p : Reactancia del devanado primario

R_c : Resistencia del núcleo

V_p : Voltaje del primario

N_s : Número de vueltas del secundario

R_s : Resistencia del devanado secundario

jX_s : Reactancia del devanado secundario

jX_M : Reactancia de magnetización

I_s : Corriente en el lado primario

N_p : Número de vueltas del primario

V_s : Voltaje del secundario.

Partiendo de la figura anterior se tiene que:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} = a$$

Fórmula # 6

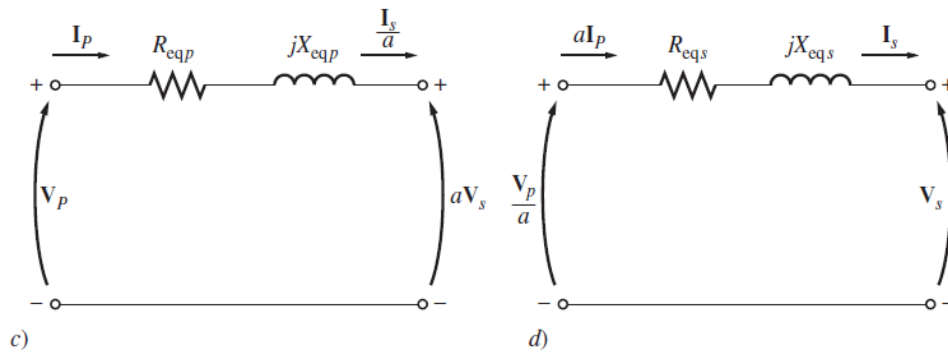
Donde:

$a = \text{Relacion de transformacion}$

Al momento de realizar el análisis de sistemas eléctricos no es útil modelar al transformador con el circuito equivalente real debido a la complejidad que implica tener dos niveles de voltajes distintos.

Por ello es necesario convertir todo el circuito en un nivel de voltaje equivalente, referido ya sea al lado primario o al lado secundario y despreciar la rama de excitación para obtener un circuito simple por cada lado sin causar errores de cálculo significativos, como se representa en la figura 13:

Figura 13: Relación de transformación de un transformador de dos devanados

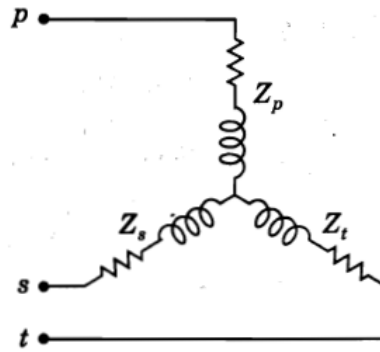


Fuente: Chapman, 2012

1.9.3 Transformador de potencia con 3 devanados

Un transformador con 3 devanados posee diferente capacidad de kilovoltamperes en cada devanado y para determinar cada valor se realizan pruebas estándar de cortocircuito. La figura 14 representa el circuito equivalente de un transformador monofásico con 3 devanados, donde p , s y t hacen referencia a las impedancias en el primario, secundario y terciario respectivamente.

Figura 14: Circuito equivalente de un transformador con 3 devanados



Fuente: Stevenson, 1996

Realizando las pruebas se obtiene:

Z_{ps} = impedancia de dispersión medida en el p, con el s cortocircuitado y el t abierto

Z_{pt} = impedancia de dispersión medida en el p, con el t cortocircuitado y el s abierto

Z_{st} = impedancia de dispersión medida en el s, con el t cortocircuitado y el p abierto

La relación de las impedancias medidas son:

$$Z_{ps} = Z_p + Z_s$$

$$Z_{pt} = Z_p + Z_t$$

$$Z_{st} = Z_s + Z_t$$

Fórmula # 7

Mientras que la relación de impedancias referidas:

$$Z_p = \frac{1}{2}(Z_{ps} + Z_{pt} - Z_{st})$$

$$Z_s = \frac{1}{2}(Z_{ps} + Z_{st} - Z_{pt})$$

$$Z_t = \frac{1}{2}(Z_{pt} + Z_{st} - Z_{ps})$$

Fórmula # 8

1.9.4 Disyuntor o interruptor de potencia

Es un dispositivo de protección encargado de desconectar una carga o parte de un sistema eléctrico en condiciones de operación normal o de cortocircuito. Este equipo debe ser capaz de interrumpir corrientes de: carga, magnetización, capacitivos de condensadores y líneas de vacío.

1.9.5 Seccionadores

Trabaja en vacío y se encarga de conectar y desconectar un circuito de forma visible. Se utiliza para realizar tareas de mantenimiento, desconectar partes de una instalación y para efectuar maniobras de operación.

1.9.6 Relés o detectores de protección

Son los equipos que reciben la información sobre el comportamiento del sistema de potencia, de acuerdo con la configuración que se ha establecido (niveles de cortocircuito), detectan si existen anomalías y en caso de encontrarlos deciden si deben intervenir y dar la señal a los circuitos de control (interruptores) para operar y desconectar el tramo de la falla.

1.10 Líneas de subtransmisión

Debido que una central generadora de un sistema eléctrico de potencia se encuentra instalado en lugares apartados, se utilizan las líneas de transmisión con niveles de voltaje relativamente altos, de forma que se reduzca las pérdidas por caída de voltaje a grandes distancias. (El Hawary, 2008).

En el caso particular de Emelnorte las líneas de subtransmisión transportan la energía a un nivel de 69kV, parten desde las subestaciones del Sistema Nacional Interconectado y llegan hasta las subestaciones de distribución, donde transportan la energía eléctrica por medio de los alimentadores primarios a cada uno de los puntos de consumo.

1.11 Conductores

Usualmente son cables trenzados compuesto de aluminio, acero galvanizado o alguna combinación y se encuentran adosados a las diferentes torres. En un principio eran de cobre, pero se reemplazó por el aluminio ya que tiene menor costo y menor peso

1.11.1 Tipos de los conductores

- Cobre
- Aluminio
- ACSR (Conductor de Aluminio con Alma de Acero)
- AAC (Conductor totalmente de Aluminio)
- AAAC (Conductor de Aleación de Aluminio)
- ACAR (Conductor de Aluminio con Alma de Aleación)

1.11.2 Parámetros de las líneas eléctricas

Una línea eléctrica tiene 4 parámetros que influyen en su capacidad de transportar energía; la resistencia, inductancia y capacitancia.

i. Resistencia eléctrica (ohmios): R

Es la causa más importante de pérdida de potencia en la línea, se define como la resistencia efectiva propia del conductor y se rige por la ecuación:

$$R_t = \frac{\text{Pérdida de potencia en el conductor}}{I^2} \quad \text{Fórmula \# 9}$$

La resistencia efectiva es igual a la corriente directa sólo si la distribución de la corriente a través del conductor es uniforme. La resistencia de corriente directa está dada por la ecuación:

$$R_0 = \frac{\rho l}{A} \Omega \quad \text{Fórmula \# 10}$$

Donde:

ρ = Resistividad del conductor

l = longitud

A = área de la sección transversal

Generalmente el valor de la resistencia se encuentra en los catálogos que proporcionan los fabricantes.

ii. Reactancia inductiva

La circulación de corriente alterna por los conductores de fase origina un flujo magnético variable que produce en ellos mismos una fuerza electromotriz inducida, dando lugar a la reactancia inductiva cuyo valor a 60 Hz se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$X_L = 0,0754 \cdot \ln\left(\frac{D_m}{D_s}\right) \Omega/km \quad \text{por fase} \quad \text{Fórmula \# 11}$$

Dónde:

X_L : Reactancia inductiva

$$D_m = DMG = D_{eq}$$

D_m : Distancia Media Geométrica

$$D_s = RMG$$

D_s : Diámetro Medio Geométrico

Para líneas trifásicas de un solo conductor o conductores agrupados, la distancia media geométrica se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab} * D_{bc} * D_{ac}} \quad \text{Fórmula \# 12}$$

Donde:

D_{ab} : Distancia del conductor a al conductor b

D_{bc} : Distancia del conductor b al conductor c

D_{ac} : Distancia del conductor a al conductor c

Generalmente el valor de D_s , viene calculado en tablas por el fabricante.

iii. Capacitancia

El efecto dieléctrico del aire y la diferencia de potencial que se forma en un conductor produce una acumulación de carga en la superficie, dando como resultado un efecto capacitivo representado por:

$$X_c = 4,77 \cdot 10^4 \ln \left(\frac{D_{eq}}{D_{sc}} \right) \Omega \cdot km \quad \text{al neutro} \quad \text{Fórmula \# 13}$$

Donde:

D_{sc} = radio externo r para una línea que consiste en un conductor por fase

Generalmente el diámetro exterior se encuentra en los catálogos por lo que, al dividir para dos este valor se obtiene el radio externo D_{sc}

1.12 Modelos de líneas eléctricas

El sistema trifásico es reducido a un equivalente de una fase y todas las líneas se componen de resistencia, inductancia serie, y capacitancia en derivación. Existen tres tipos de modelos que dependen de la longitud y el nivel de voltaje (Gallardo, 2014):

1.12.1 Líneas de longitud corta

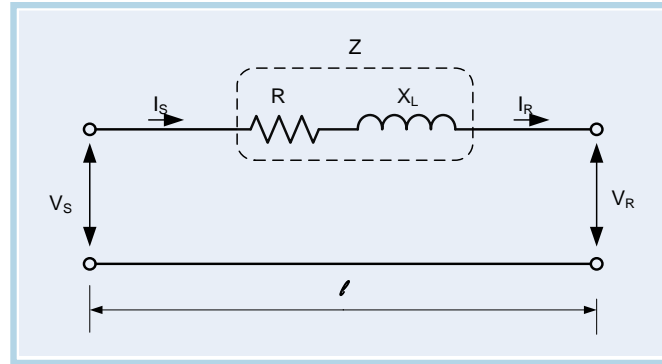
Son aquellas líneas que no exceden los 80km de longitud (50 millas) y el voltaje de la línea no supera los 69Kv. La figura 15 representa el circuito equivalente para una línea corta.

i. Consideraciones para el modelado de los parámetros:

- El efecto capacitivo es de menor valor y se desprecia el efecto producido por la conductancia (efecto corona y efecto aislador)

- En cuanto a la resistencia R y la inductancia L pueden tomarse de forma concentrada para la longitud total de la línea.

Figura 15: Modelo de una línea de longitud corta



Fuente: Presentación Líneas de transmisión Dr. Carlos Gallardo EPN

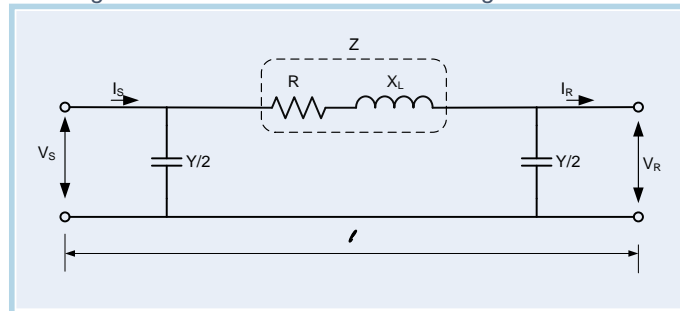
1.12.2 Líneas de longitud media

Son aquellas líneas que se encuentran entre los valores de 80km (50 millas) y 240km (150 millas). La figura 16 representa el circuito equivalente para una línea corta

i. Consideraciones para el modelado de los parámetros:

- El efecto de la capacidad es significativo por lo que se debe considerar en cada extremo de la línea
- La resistencia y la reactancia de línea son parámetros concentrados.

Figura 16: Modelo de una línea de longitud mediana



Fuente: Presentación Líneas de transmisión Dr. Carlos Gallardo EPN

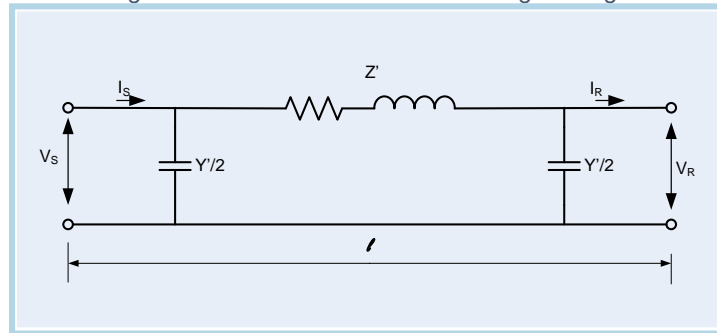
1.12.3 Longitud larga

Son aquellas líneas que son mayores a 240km (150 millas). La figura 17 representa el circuito equivalente para una línea corta

i. Consideraciones para el modelado de los parámetros:

- La impedancia en serie por unidad de longitud es Z .
- La admitancia en derivación por unidad de longitud es y .
- La precisión obtenida mediante uso de parámetros distribuidos.

Figura 17: Modelo de una línea de longitud larga



Fuente: Presentación Líneas de transmisión Dr. Carlos Gallardo EPN

1.13 Hilo de guarda

Se encuentra situado en la parte superior de las redes por encima de las fases, no tiene voltaje y está presente en las líneas aéreas, subestaciones de transmisión y subtransmisión.

Como lo establece (Rodriguez, 2010) el hilo de guarda se encarga de generar un equipotencial de tierra reduciendo al mínimo la resistencia de tierra y también protege a los equipos y conductores contra las descargas atmosféricas. Generalmente está compuesto por hilos de acero galvanizado o el mismo calibre del conductor de las fases.

i. Características

- Son de extra alta resistencia
- No se deben realizar uniones de ningún tipo diferente a las suelda eléctricamente a tope realizada antes de iniciar el enfriado del cable.
- Deben estar galvanizados y como mínimo la capa de zinc debe tener una masa de 0,396 kg/cm²
- Debe ser de 7 hilos con trenzado izquierdo con un paso no menor de 10 ni mayor de 16 veces del diámetro nominal.

1.14 Torres de subtransmisión

Durante el proceso de transporte de energía eléctrica es importante evitar que las personas entren en contacto con las líneas energizadas, por ello se ha hecho necesario suspenderlas en torres o estructuras especialmente diseñadas según el tipo de voltaje que transfieren y aislarlas de la referencia de tierra (Alfredo Dammert, 2011).

1.14.1 Tipos de Torres

Existe un gran número de arreglos que varían de acuerdo con las necesidades del sistema y se construyen en base a las distancias eléctricas y niveles de voltaje a transmitir. Para construir las torres muchos ingenieros se basan en criterios propios que adquieren con la experiencia y la creatividad. (Semblantes, 2010). La clasificación según su función es:

- **Estructura de suspensión (S):** Son estructuras livianas y se utilizan en tramos rectos o tramos con ángulos menores a 3°. Soportan el peso de la línea, accesorios y el viento.
- **Estructura de anclaje (A):** Se emplean en tramos que están expuestos a tensiones adicionales por giro entre los cables de llegada y los cables de salida, por lo que resultan ser más robustas que las de suspensión.
- **Estructura de retención y remate (R):** Debido a que soportan cargas longitudinales muy largas, son estructuras más robustas. Se colocan al inicio y al final de la línea de transmisión

1.14.2 Arreglo geométrico de las torres que operan en EMELNORTE

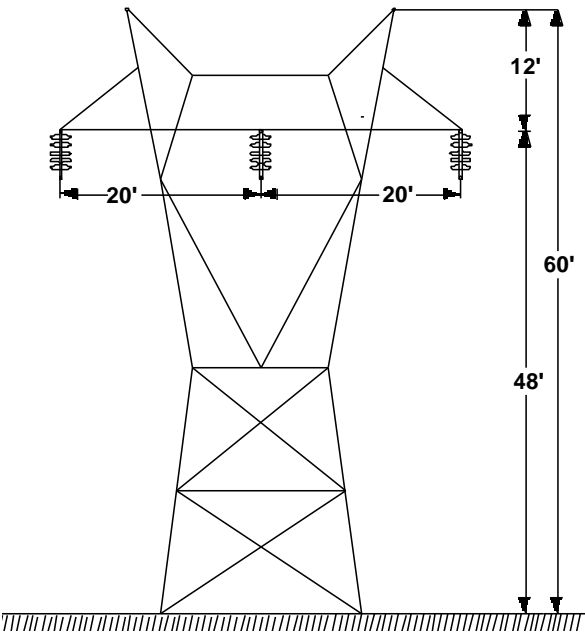
La disposición geométrica de las torres que se encuentran dentro del área de concesión de EMELNORTE varían de acuerdo con la ubicación y al cambio de dirección.

Las torres de transmisión operan a un nivel de voltaje de 138kV, pertenecen a la empresa CELEC TRANSELECTRIC E.P y la estructura predominante es el tipo S2G; mientras que las torres de subtransmisión operan con el nivel de 69kV, se encuentran presentes en toda el área y la estructura predominante es la de tipo suspensión S1G.

A continuación, se detallan algunos arreglos geométricos de las torres más representativos dentro del área de concesión de Emelnorte: (Sherwin H, 1996)

i. A nivel de transmisión

Figura 18: Torre de transmisión SPAN 900FT



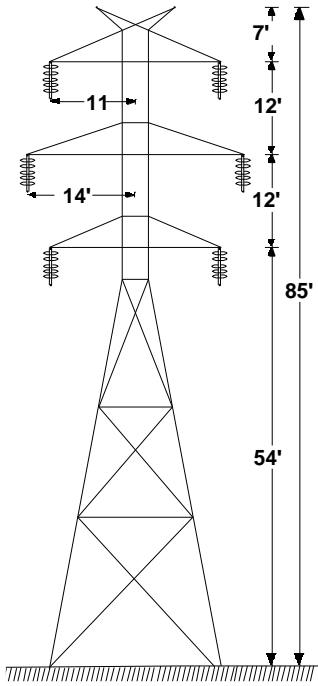
Fuente: Sherwin, 1996

Tabla 3: Características de la torre SPAN 900FT

| ESTRUCTURA: AVERAGE SPAN 900 FT | |
|---------------------------------|---|
| Altura de la torre | 18,28 m |
| Voltaje de la línea | 138 kV |
| Tipo de estructura | Auto soportada |
| Función de la línea | Retención |
| Disposición | Circuito Simple de Suspensión con 2 hilos de guarda |

Fuente: Autor

Figura 19: Torre de transmisión SPAN 800 FT



Fuente: Sherwin, 1996

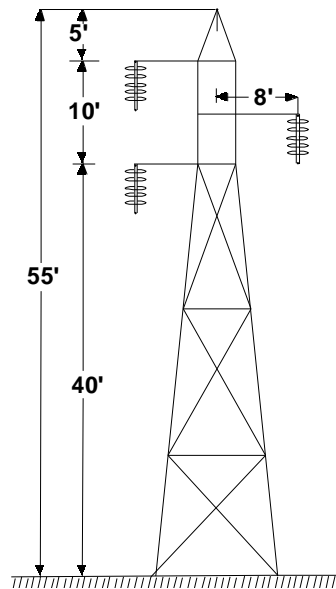
Tabla 4: Características de la torre SPAN 800 FT

| ESTRUCTURA: AVERAGE SPAN 800 FT | |
|---------------------------------|---|
| Altura de la torre | 25,9 m |
| Voltaje de la línea | 138kV |
| Tipo de estructura | Auto soportada |
| Función de la línea | Retención |
| Disposición | Circuito Doble Suspensión con 2 hilos de guarda |
| Ubicación | Pomasqui – Ibarra |

Fuente: Autor

ii. A nivel de Subtransmisión (69 kV)

Figura 20:: Torre de subtransmisión S1G



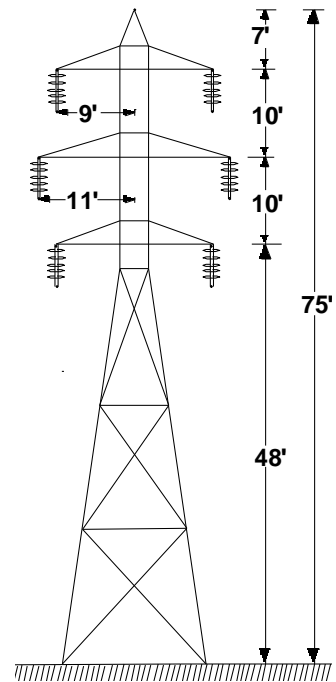
Fuente: Sherwin, 1996

Tabla 5: Características de la torre S1G

| ESTRUCTURA S1G | |
|---------------------|--|
| Altura de la torre | 16,76 m |
| Voltaje de la línea | 69 kV |
| Tipo de estructura | Auto soportada |
| Función de la línea | Retención |
| Disposición | Circuito Simple en Volado tipo S con 1 de Guarda |
| Ubicación | Toda el área |

Fuente: Autor

Figura 21: Torre de subtransmisión 600 FT



Fuente: Sherwin, 1996

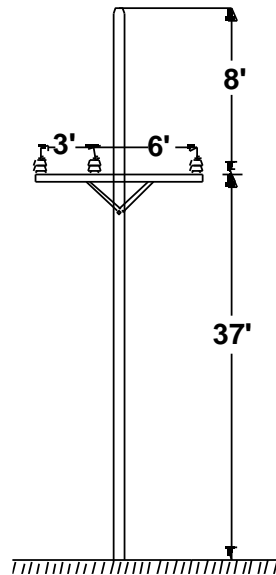
Tabla 6: Características de la torre 600 FT

| ESTRUCTURA: AVERAGE SPAN 600 FT | |
|---------------------------------|--|
| Altura de la torre | 22,86 m |
| Voltaje de la línea | 69 kV |
| Tipo de estructura | Auto soportada |
| Función de la línea | Retención |
| Disposición | Circuito Doble Angular con 2 hilos de guarda |
| Ubicación | Redes dobles. |

Fuente: Autor

iii. A nivel de Subtransmisión (34,5kV)

Figura 22: Torre de subtransmisión 300 FT



Fuente: Sherwin, 1996

Tabla 7: Características de la torre 300 FT

| ESTRUCTURA: AVERAGE SPAN 300 FT | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Altura de la torre | 11,27 m |
| Voltaje de la línea | 34,5 kV |
| Tipo de estructura | Auto soportada |
| Función de la línea | Suspensión |
| Disposición | Circuito Simple de Suspensión |
| Ubicación | Central el Ambi y San Miguel de Car |

Fuente: Autor

1.15 Componentes simétricas

Cuando ocurre una falla en un circuito eléctrico trifásico, se presenta un desequilibrio en las ondas del voltaje y corriente creando así, un cambio en los valores de la magnitud y el ángulo. Para determinar estos valores se aplica el método de componentes simétricas. (Ferro, 2015) la define como una herramienta matemática que se aplica comúnmente en el cálculo de un sistema eléctrico de potencia que hace posible la predicción del comportamiento del sistema durante un cortocircuito.

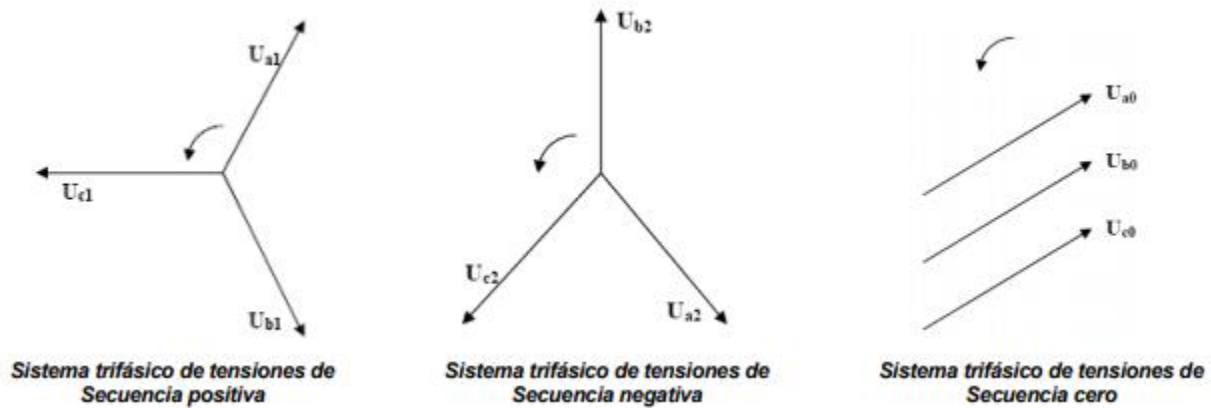
Cuando se trabaja con corrientes y voltajes en corriente alterna trifásicos se utilizan las secuencias de fases, las cuales son:

Secuencia positiva: representado en la figura 23.a está compuesto por tres fasores de igual magnitud separados por 120° y misma secuencia de fase que los fasores originales. (A, B, C)

Secuencia negativa: representado en la figura 23.b está compuesto por tres fasores de igual magnitud separados por 120° y secuencia de fases opuestas de los fasores originales. (A, C, B)

Secuencia cero: representado en la figura 23.c está compuesto por tres fasores de igual magnitud y con cero grados de espaciamento, es decir están en fase.

Figura 23: Sistemas simétricos de fasores de tensiones trifásicos.



Fuente: Ferro, 2015

1.15.1 Vector de giro “a”

Para métodos de cálculo en las secuencias se utiliza el vector operador de giro “a”, este es un valor que tiene como magnitud la unidad y 120° en dirección positiva desde el eje de referencia. (Ferro, 2015). Se define como:

$$a = -\frac{1}{2} + j\sqrt{3}/2$$

i. Propiedades

$$a^3 = 1$$

$$1 + a + a^2 = 0$$

$$a^4 = a$$

$$a^5 = a^2$$

1.16 Programas para modelar Sistemas Eléctricos de Potencia

En el mercado existen diversas herramientas de software que permiten realizar el análisis de un Sistema Eléctrico de Potencia, cada una utiliza diversos métodos de cálculos y son creadas para facilitar y cumplir con los objetivos de un sistema. Algunas herramientas se especializan en redes de alto voltaje y otras en redes de menor voltaje. Algunos de estos programas son:

1.16.1 Programa de análisis de redes eléctricas CYME

Es una herramienta de simulación especializada en redes de transporte, distribución e industriales. Permite crear redes equilibradas o desequilibradas, redes secundarias, de subestaciones, redes inalámbricas con configuración radial o mallada y puede representarse de forma esquemática o geográfica. (CYME INTERNATIONAL, 2015)

i. Programa de análisis de redes eléctricas Cymdist

El programa ofrece varios modelos para todo tipo de análisis. Se puede combinar o crear nuevos reportes, crear sus propias expresiones matemáticas usando cualquier variable, exportar a Microsoft Excel los resultados de los reportes, además permite definir los resultados de los análisis en reportes web.

ii. Base de datos de CYMDIST

Cymdist usa bases de datos para almacenar los equipos y redes (alimentadores). Existen 3 tipos que archivos en cuales pueden ser guardados, el usuario será quien determine el más convenientes. Estos son:

- MS SQL
- MS ACCESS
- Oracle

Base de datos de equipos: Contiene toda la información referente a los parámetros eléctricos de los equipos como voltaje, corriente, potencia.

Base de datos de red: almacena los datos de los conductores y la conectividad entre tramos. A medida que se trabaje en el sistema, Cymdist guarda los cambios realizados solo cuando la red sea actualizada.

iii. Importación de mapas

El software Cymdist importa directamente los mapas, para datos georreferenciados utiliza la opción MapServer que administra los mapas y convierte a otras extensiones en archivos GDS. La tabla 8 dispone los formatos permitidos por Cymdist para la importación de datos.

Tabla 8: Formatos de archivos disponibles en Cymdist

| FORMATO | EXTENSIÓN |
|----------------------------|-----------|
| Atlas GIS | . BNA |
| AutoCAD versions 1-2000 | .DWG |
| Digital Chart of the World | . VPF |
| ESRI | .SHP |
| MapInfo | . MIF |
| Metafiles | .wmf .emf |
| Microsoft Bitmap raster | .BMP |
| Tagged Image File | .tif |
| UK Ordnance Survey | . NTF |
| US Geological Survey | . OPT |

Fuente: CYME INTERNATIONAL,2015

1.16.2 DigSILENT Power Factory

DigSILENT (Digital Simulation Electrical Network) es un software que se utiliza para diseñar y analizar un sistema eléctrico de potencia comercial, industrial y a gran escala. El análisis para la planificación y operación de los sistemas eléctricos, están diseñados con un paquete computacional avanzado, integrado e interactivo. (Gonzales, Manual de usuario de DigSILENT Power Factory 12.0 en español, 2004)

Presenta dos complementos que permiten la creación de programas para realiza cálculos sucesivos, posibilitan la extracción de información de una red y la creación de modelos matemáticos de los elementos. (Gutierrez, 2016)

- *DLP*: permite crear programas e implementar algoritmos.
- *DSL*: permite la modelación del comportamiento dinámico de componentes eléctricos mediante diagrama de bloques que los representa matemáticamente.

1.16.3 Software ETAP

Es un software de ingeniería eléctrica para Sistemas de Potencia, es la herramienta más completa de análisis y control para diseñar, simular y operar sistemas eléctricos de potencia de desarrollo, generación, distribución e industriales. (SILVATECH S.A., 2008)

1.16.4 PSS/E

Es un programa integral para simular, analizar y optimizar el rendimiento del sistema de energía. Utiliza métodos avanzados para analizar estudios de flujo de potencia, análisis de fallas en desequilibrio y simulaciones dinámicas. Proporciona flexibilidad para proyectistas y diseñadores modelando una amplia variedad de componentes que permite aplicar criterios propios de los usuarios. (Carvajal, 2008)

1.16.5 Power world

Es un software de simulación de operaciones de sistema de alta tensión, permite calcular flujos de potencia con sistemas hasta de 60000 barras. Incluye diagramas unilineales y animaciones coloridos. (Carvajal, 2008)

CAPÍTULO 2

Modelación del sistema de subtransmisión de Emelnorte

2.1 Introducción

Para la modelación del sistema de subtransmisión de Emelnorte se creó una nueva base de datos en el programa Cymdist para registrar todo lo referente a equipos y redes, adicionalmente se crearon los diferentes equipos que Emelnorte tiene en su sistema de subtransmisión, entre los más importantes se encuentran; generadores propios, generadores pertenecientes a particulares, líneas de transmisión, líneas de subtransmisión, subestaciones de distribución y dentro de estos, interruptores (disyuntores y seccionadores), capacitores y relés de sobrecorriente.

Para el análisis de la información de estos elementos de red, Emelnorte tiene levantado el catálogo de parámetros eléctricos de todos los equipos instalados en su sistema de subtransmisión, mismo que fue utilizado para asignar sus características eléctricas a cada equipo.

A continuación, se procedió a crear los elementos necesarios para establecer las estructuras de soporte georreferenciadas del sistema eléctrico de subtransmisión, así como también líneas de transporte y espaciamiento de circuitos para incorporarlos a la base de datos de equipos y redes.

Finalmente se conectaron todas las líneas de transporte a 138/69/34,5kV con las respectivas vistas imbricadas de subestaciones y centrales de generación y para verificar si el sistema se encontraba conectado eléctricamente de forma correcta, se realizaron pruebas tipo piloto de cortocircuito. En caso de tener un error Cymdist informa el tipo y la ubicación en la ventana de mensajes y reportes y no permite realizar un cambio o una simulación hasta que el problema no sea resuelto.

2.2 Descripción del sistema de subtransmisión de EMELNORTE

EMELNORTE, es una empresa que brinda el servicio de distribución de energía eléctrica, a diciembre de 2018 cuenta con **245.805 abonados**, dentro de su área de concesión que comprende las provincias de Imbabura, Carchi, los cantones de Cayambe y Pedro Moncayo, el

cantón Sucumbíos de la provincia del mismo nombre y los sectores de Durango y Alto Tambo de la provincia de Esmeraldas, cuya extensión es de **11.979 Km²**.

2.2.1 Interconexión con el Sistema Nacional Interconectado

Para alimentar el sistema de subtransmisión, Emelnorte cuenta con dos puntos de interconexión con el Sistema Nacional Interconectado: en la S/E Ibarra en la ciudad del mismo nombre, la barra DO77IB69 en donde se ha instalado adicionalmente un transformador de 66 MVA denominado ATR, en paralelo con el existente también ATR, y la barra la barra DO92TULC, en la S/E Tulcán de CELEC-TRANSELECTRIC las dos a nivel de 69 kV.

2.2.2 Sistema de subtransmisión

El sistema de subtransmisión al momento, comprende la operación de 15 subestaciones de distribución con una capacidad instalada OA de 162,5 MVA voltaje 69/13,8 kV, el detalle de las subestaciones se indica en la tabla 9.

Tabla 9: Subestaciones de distribución de Emelnorte

| No | S/E | Voltaje de operación | Potencia nominal |
|----|--------------|----------------------|------------------|
| 1 | Ajaví | 13,8/69 | 10 |
| 2 | Alpachaca | 13,8/69 | 20 |
| 3 | Atuntaqui | 13,8/69 | 20 |
| 4 | Cayambe | 13,8/69 | 20 |
| 5 | Cotacachi | 13,8/69 | 5 |
| 6 | El Ángel | 13,8/69 | 2.5 |
| 7 | El Chota | 13,8/69 | 10 |
| 8 | El Retorno | 13,8/69 | 10 |
| 9 | La Carolina | 13,8/69 | 5 |
| 10 | La Esperanza | 13,8/69 | 10 |
| 11 | Otavalo | 13,8/69 | 10 |
| 12 | San Agustín | 13,8/69 | 10 |
| 13 | San Gabriel | 13,8/69 | 10 |
| 14 | San Vicente | 13,8/69 | 10 |
| 15 | Tulcán | 13,8/69 | 10 |
| 16 | El Rosal | - | - |

Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte

2.2.3 Líneas de subtransmisión

Emelnorte cuenta con 18 líneas de subtransmisión, con una longitud de 256,11 km, y 2 líneas de subtransmisión a 34,5 kV con una extensión de 17,52 km, estas últimas para evacuar la generación de las centrales hidráulicas Ambi y San Miguel de Car.

La tabla 10 indica los km de red de todos los tramos de las subestaciones de distribución,

Tabla 10: Líneas de transporte de subtransmisión de Emelnorte

| No | LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN | NIVEL DE VOLTAJE | Km DE RED |
|----|------------------------------|------------------|-----------|
| 1 | Ibarra – San Agustín | 69 | 8,47 |
| 2 | San Agustín – El Retorno | 69 | 4,5 |
| 3 | Otavallo – Cayambe | 69 | 26,39 |
| 4 | Chota – El Ángel | 69 | 20,5 |
| 5 | El Ángel – San Gabriel | 69 | 13,8 |
| 6 | San Gabriel – Tulcán | 69 | 30,7 |
| 7 | Tulcán – El Rosal | 69 | 5,65 |
| 8 | Tulcán – Tulcán (T) | 69 | 2 |
| 9 | Alpachaca – Ambi | 34,5 | 3,59 |
| 10 | Ibarra – LAFARGE | 69 | 21,5 |
| 11 | El Rosal – San Miguel de Car | 34,5 | 14 |
| 12 | Ibarra – Cotacachi | 69 | 13,37 |
| 13 | Cayambe – La Esperanza | 69 | 11,8 |
| 14 | San Vicente – Otavallo | 69 | 3,3 |
| 15 | Ibarra – Alpachaca | 69 | 2,7 |
| 16 | Alpachaca – Chota | 69 | 17,3 |
| 17 | Chota – La Carolina | 69 | 40,23 |
| 18 | Alpachaca – Ajaví | 69 | 1,9 |
| 19 | Ibarra – Atuntaqui | 69 | 13,3 |
| 20 | Atuntaqui – San Vicente | 69 | 18,7 |

Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte

2.2.4 Centrales de generación

Emelnorte S.A., dispone de generación propia con una capacidad nominal de 13,86 MVA para cubrir parte de su demanda, también se encuentran conectadas empresas de generación y autogeneradores pertenecientes a distintas empresas. La tabla 11 indica las centrales:

Tabla 11: Centrales de generación de Emelnorte

| No | CENTRAL | PERTENECE A | TIPO | UBICACION | OPERATIVA | POTENCIA NOMINAL |
|----|-------------------|-----------------|------|--------------|-----------|------------------|
| 1 | Ambi | Emelnorte | H | Imbabura | SI | 8 MVA |
| 2 | Buenos Aires | Emelnorte | H | Imbabura | SI | 0,98 MVA |
| 3 | San Miguel de Car | Emelnorte | H | Carchi | SI | 2,95 MVA |
| 4 | La Playa | Emelnorte | H | Carchi | SI | 1,43 MVA |
| 1 | El Ángel | GAD Espejo | H | Imbabura | SI | 260 kVA |
| 2 | San Gerónimo | Hidroimbabura | H | Imbabura | SI | 2X250 kVA |
| 3 | Hidromira | Gobierno Carchi | H | Carchi | NO | 0.98 MVA |
| 4 | Cotacachi | GAD Cotacachi | H | Carchi | NO | 1X200+1X250 kVA |
| 5 | Ind. Algodonera | SEERMA | H | Atuntaqui | SI | 1x300+1x400 kVA |
| 1 | Electrocordova | | A | Imbabura | SI | 1x250 kVA |
| 2 | Otavallo I | Electrocordova | A | Imbabura | SI | 1x250 kVA |
| 3 | Otavallo II | Electrocordova | A | Carchi | SI | 1x527kVA |
| 5 | Antonio Ante | SEERMA | A | Atuntaqui | SI | 2x250 kVA |
| 6 | UNACEM | UNACEM | A | Selva Alegre | SI | 26MVA |

Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte

El diagrama unifilar del sistema de subtransmisión de la empresa eléctrica Emelnorte se encuentra adjunto en el Anexo A

2.2.5 Redes primarias

EMELNORTE, a diciembre de 2018 cuenta con 68 redes primarias a un nivel de voltaje de 13,8 kV con una longitud de 5.867,02 km, 4.192,83 km de ramales monofásicos, 43,79 km de ramales bifásicos y 1.630,40 km de ramales trifásicos, cuenta con 16.513 transformadores de distribución con una potencia total instalada de 464,14 MVA, de los cuales 14.046 son monofásicos con una potencia instalada de 267,96 MVA y 2.467 son trifásicos con una potencia instalada de 196,18 MVA

2.3 Software y materiales

Para el desarrollo del trabajo de grado se requiere del siguientes softwares e información:

- **DigSilent (Power Factory).** - Software de análisis de sistemas eléctricos de potencia, generadores, líneas de transmisión, distribución y sistemas industriales.
- **CYMDIST (Distribution Analysis).** - Programa de análisis de redes de distribución permite realizar varios tipos de estudios de flujos de carga desbalanceados, análisis de fallas, balance de cargas, ubicación óptima de condensadores, módulo en el cual Emelnorte tiene modelados todos los alimentadores primarios.
- **Editor de redes (Network Editor).** - Es la interfaz gráfica para crear el diagrama unifilar de la red, y una amplia variedad de opciones para personalizar ventanas y reportes.
- **Flujos de potencia (Power Flow).** - Permite realizar estudios de flujos de potencia en redes eléctricas trifásicas
- **CYMTCC (Protective Device Analysis).** - Módulo que permite al ingeniero una amplia herramienta para diseñar, validar con gran eficacia y precisión los esquemas de coordinación de protecciones, este se lo utilizó para ingresar los relés de sobrecorriente en las subestaciones de distribución.
- **Análisis de fallas (Fault Analysis).** - Permite simular condiciones de falla en redes trifásicas, este módulo se lo utilizó para validar la modelación del sistema de

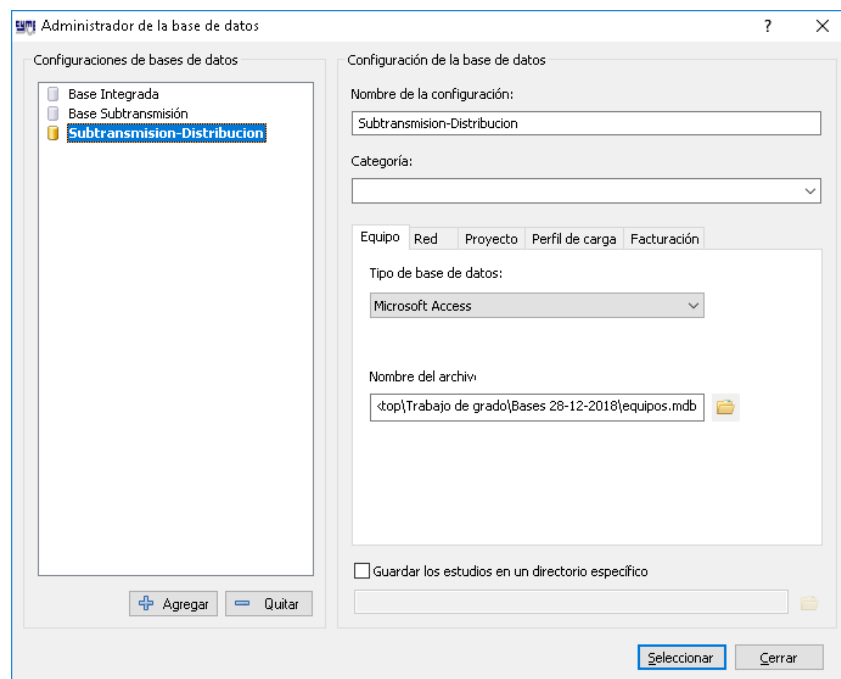
subtransmisión creado en CYMDIST, simulando cortocircuitos en diferentes puntos de la red y comparando con los obtenidos en DigSILENT.

- **Catálogo de Equipos.** - Base de datos de equipos con sus respectivas características técnicas información levantada por la empresa Emelnorte.

2.4 Base de datos.

Se creó una base de datos nueva para implementar los equipos y redes con las características del catálogo de equipos de Emelnorte y se la nombró como *>Base Subtransmisión*. La ventana de la figura 24 da acceso a todas las bases de datos creadas anteriormente y permite crear una nueva o eliminarlas.

Figura 24: Bases de datos modeladas para Emelnorte



Fuente: Autor

2.5 Creación de equipos

La modelación de la red de subtransmisión inició con la creación de equipos donde; se asignaron las respectivas características eléctricas de cada elemento, partiendo con los generadores síncronos, transformadores con dos/tres devanados y elementos de protección como seccionadores, disyuntores relés y condensadores.

2.5.1 Generadores síncronos


Emelnorte cuenta con generación propia, generación de empresas privadas - municipios y autogeneradores. Las características eléctricas y tipo se encuentran detalladas en el Anexo B. Para la modelación en Cymdist se nombró a todos los equipos en base a la subestación a la que pertenecen, número de generador en caso de haber más de uno y la potencia de trabajo.

G1: Si se toma como ejemplo al generador 1 de la central de generación >El Ambi se tiene las características eléctricas de la tabla 12:

Tabla 12: Características eléctricas del generador 1 de la subestación El Ambi.

| # | Nombre Central | Nombre Unidad | Pertenece a: | Sn (MVA) | fp | Estator | | N° fases | f (Hz) | Tipo | Pmin (MW) | Pmax (MW) | Qmin (Mvar) | Qmax (Mvar) |
|---|----------------|---------------|--------------|----------|-----|---------|-----|----------|--------|------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| | | | | | | Vn (kV) | rpm | | | | | | | |
| 1 | El Ambi | 1 | Emelnorte | 5 | 0,8 | 4,16 | 600 | 3 | 60 | Hidráulico | 3,4 | 4,6 | 0,0425 | 0,0575 |

Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte

En la ventana de >Generador síncrono, se creó un nuevo equipo en la opción >Agregar  y se nombró al mismo. La tabla 13 indica la configuración que se utilizó para crear la central de generación >El Ambi:

Nombre del equipo: EL AMBI G1 5 MVA

Tabla 13: Parámetros para la creación del generador G1 El Ambi

| PESTAÑA | ÍTEM | DATOS | UNIDAD | INFORMACIÓN |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|--------|------------------------|
| GENERAL | Capacidad nominal | Potencia nominal | kVA | 500 |
| | | Tensión nominal | kVLL | 4,16 |
| | | Potencia activa nominal | kW | |
| | | Factor de potencia | % | 0.8 |
| | | Numero de polos | U | 12 (Cálculo ítem i) |
| | | Potencia reactiva max. | kVAR | 52,5 |
| | | Potencia reactiva min. | kVAR | 57,5 |
| | Impedancias del generador | Régimen y secuencia | Ohmios | Cálculo ítem ii. |
| CIRCUITO EQUIVALENTE | Modelo | Tipo de generador | U | Tipo 1 -Modelo clásico |

Fuente: Autor

i. Cálculo del numero de polos

Para el cálculo del numero de polos se aplica la siguiente ecuación:

$$P = \frac{f * 120}{n_m}$$

Donde:

P : Número de polos

f : Frecuencia eléctrica en Hz

n_m : Velocidad mecánica del campo magnetico en r/min

Entonces se tiene:

$$P = \frac{60 * 120}{600} = 12 \text{ polos}$$

ii. Calculo de las impedancias del generador

Al no disponer de esta información el programa Cymdist permite realizar una estimación de los datos, esto se consigue en la opción *>Estimar*. Se establecen los datos generales del sistema como potencia nominal, sistema de enfriamiento y tipo de generador. Para este caso en cuanto al nivel de estimacion se escogió el tipo *>Promedio*.

Se crearon las 11 centrales de generación que operan en el area de consesión de Emelnorte. Finalmente en la ventana de la figura 25 se muestran todos los generadores creados para la base de datos *>Subtransmisión* así como también las características eléctricas del generador G1 El Ambi:

Figura 25: Generadores síncronos modelados para Emelnorte

The screenshot shows the 'Generador síncrono' window with the following data:

| Capacidad nominal | |
|--------------------------|------------|
| Potencia nominal: | 5000,0 kVA |
| Tensión nominal: | 4,16 kVLL |
| Potencia activa nominal: | 4000,0 kW |
| Factor de potencia: | 80,0 % |
| Número de polos: | 12 |
| Potencia reactiva máx.: | 57,5 kvar |
| Potencia reactiva mín.: | 42,5 kvar |

| Impedancias del generador | |
|---------------------------|-----------------------|
| Régimen permanente | Z1: 0,017 0,17 |
| Transitorio | Z1': 0,00764 0,21986 |
| Subtransitorio | Z1'': 0,00665 0,19118 |
| Secuencia inversa | Z2: 0,00665 0,19118 |
| Secuencia homopolar | Z0: 0,00219 0,06309 |

| Impedancia de puesta a tierra | |
|-------------------------------|---------------|
| Puesta a tierra | Zg: 0,0 0,0 Ω |

Fuente: Autor

2.5.2 Transformador de potencia con dos devanados


El transformador de potencia con dos devanados se encuentra en todas las subestaciones de distribución de Emelnorte, así como también en algunos centros de generación. Las características eléctricas de todos los transformadores con desdevanados se encuentran adjuntas en el Anexo C

T1: Si se toma como ejemplo al transformador de la subestación Ajaví de 10MVA se tiene las características eléctricas de la tabla 14:

Tabla 14: Características eléctricas del transformador de la subestación Ajaví

| Subestación | Fases | Tipo | Sn,CAP. OA (MVA) | CAP. FA (MVA) | Vp (kV) | Vs (kV) | Pfe (kW) | Grupo conexión | f (Hz) | Nivel de Aislamiento BIL p (kV) |
|-------------|-------|------|------------------|---------------|---------|---------|----------|----------------|--------|------------------------------------|
| Ajaví | 3 | I/A | 10 | 12,5 | 69 | 13,8 | 8,98 | DYn1 | 60 | 350 |

Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte

En la ventana de >Transformador con dos devanados se creó un nuevo equipo en la opción >Agregar  y se nombró al mismo. La tabla 15 indica la configuración que se utilizó para crear el transformador con dos devanados de la subestación >Ajaví

Nombre del equipo: AJAVÍ T1 10/12.5 MVA

Tabla 15: Parámetros para la creación del transformador T1 de la subestación Ajaví

| PESTAÑA | ÍTEM | DATOS | INFORMACIÓN |
|---------|--------------------------|------------------------|--------------------|
| GENERAL | Datos nominales | Tipo de transformador | Trifásico |
| | | Tipo de aislamiento | Inmerso en liquido |
| | | Tipo de devanado | Tipo acorazado |
| | | Capacidad nominal | 10000 |
| | | Tensión primaria | 69 |
| | | Tensión secundaria | 13,8 |
| | | Perdidas en vacío | 8,98 |
| | | Corriente magnetizante | 0 |
| | Impedancias de secuencia | Z1 | Cálculo ítem i. |
| | | Z0 | |
| | | X1/R1 | |
| | | X0/R0 | |
| | Configuración | Primario/Secundario | Delta / Estrella |
| | | Desfase | Dyn1 |

Fuente: Autor

i. Cálculo de impedancias de secuencias

Al no disponer de esta información el programa Cymdist permite realizar una estimación de los datos, esto se consigue en la opción *>Estimar*. Los datos requeridos son: Tipo de transformador, potencia de operación, sistema de refrigeración y nivel de estimación, se escogió la opción *>Pomerdio*. Clic en *>Estimar* y *>Aceptar*.

Se crearon todos los transformadores con dos devanados que operan en las subestaciones de distribución de Emelnorte. Finalmente en la ventana de la figura 26 se presentan todos los transformadores creados así como también las características eléctricas del transformador de la subestación Ajaví.

Figura 26: Transformadores con dos devanados modelados para Emelnorte

The screenshot shows the 'Transformador con dos devanados' window. On the left, a list of transformers is shown, including 'AJAVÍ T1 10/12.5 MVA'. The right panel contains the following data:

| Datos nominales | | | |
|-------------------------|--------------------|------|--|
| Tipo de transformador: | Trifásico | | |
| Tipo de aislamiento: | Immerso en líquido | | |
| Tipo de devanado: | Tipo acorazado | | |
| Capacidad nominal: | 10000,0 | kVA | |
| Tensión primaria: | 69,0 | kVLL | |
| Tensión secundaria: | 13,8 | kVLL | |
| Pérdidas en vacío: | 8,98 | kW | |
| Corriente magnetizante: | 0,0 | % | |

| Impedancias de secuencia | | | |
|--------------------------|--------|------|---|
| Estimar... | Z1: | 9,09 | % |
| | Z0: | 9,09 | % |
| | X1/R1: | 16,7 | |
| | X0/R0: | 16,7 | |

| Impedancias de puesta a tierra | | | |
|--------------------------------|-----|-----|---|
| | Rg | Xg | |
| Primario: | 0,0 | 0,0 | Ω |
| Secundario: | 0,0 | 0,0 | Ω |

Fuente: Autor

2.5.3 Transformador de potencia con tres devanados

Se encuentran en las subestaciones reductoras Ibarra-Tulcán y en la subestación de distribución Alpachaca. Se nombró al equipo en base a la subestación a la que pertenece y la potencia de trabajo. Las características eléctricas se detallan en la tabla 16:

Tabla 16: Características eléctricas de los transformadores con 3 devanados.

| Subestación | Sn,CAP. OA (MVA) | | | Vp (kV) | | | Pfe (kW) | Grupo conexión | | Z1 | | | Z0 | | |
|-------------|------------------|----|-----|---------|------|------|----------|----------------|-------|--------|-------|-------|--------|------|-------|
| | P | S | T | P | S | T | | P-S | P-T | P-S | P-T | S-T | P-S | P-T | S-T |
| Alpachaca | 10 | 10 | 3,3 | 69 | 34,5 | 13,8 | 18,43 | YNyn0 | YNd11 | 0,0643 | 0,07 | 0,065 | 0,0643 | 0,07 | 0,065 |
| Ibarra T1 | 40 | 40 | 10 | 138 | 34,5 | 13,8 | 38,18 | YNyn0 | YNd1 | 12,673 | 6,07 | 2,207 | 12,673 | 6,07 | 2,207 |
| Ibarra T2 | 66 | 66 | 20 | 138 | 69 | 13,8 | 26,04 | YNyn0 | YNd1 | 11,8 | 12,4 | 8,1 | 17 | 17 | 17 |
| Ibarra T3 | 66 | 66 | 12 | 138 | 69 | 13,8 | 21,54 | YNyn0 | YNd1 | 11,649 | 7,766 | 4,897 | 17 | 17 | 17 |
| Tulcán | 33 | 33 | 11 | 138 | 69 | 13,8 | 15,4 | YNyn0 | YNd1 | 7,44 | 7,86 | 4,81 | 17 | 17 | 17 |


Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte.

T1: Si se toma al transformador con 3 devanados de la subestación Alpachaca de 10MVA se tiene las características mostradas en la tabla 17:

Tabla 17: Características eléctricas del transformador con 3 devanados de la subestación Alpachaca

| Subestación | Sn,CAP. OA (MVA) | | | Vp (kV) | | | Pfe (kW) | Grupo conexión | | Z1 | | | Z0 | | |
|-------------|------------------|----|-----|---------|------|------|----------|----------------|-------|--------|------|-------|--------|------|-------|
| | P | S | T | P | S | T | | P-S | P-T | P-S | P-T | S-T | P-S | P-T | S-T |
| Alpachaca | 10 | 10 | 3,3 | 69 | 34,5 | 13,8 | 18,43 | YNyn0 | YNd11 | 0,0643 | 0,07 | 0,065 | 0,0643 | 0,07 | 0,065 |

Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte

En la ventana de >Transformador con tres devanados se creó un nuevo equipo en la opción >Agregar  y se nombró al mismo. La tabla 18 indica la configuración que se utilizó para crear el transformador con tres devanados de la subestación de distribución Alpachaca

Nombre del equipo: ALPACHACA T3 10/12.5 MVA

Tabla 18: Parámetros para la creación del transformador con 3 devanados – Alpachaca

| PESTAÑA | ÍTEM | DATOS | INFORMACIÓN |
|------------------|--------------------------|------------------------|---|
| General | Datos nominales | Capacidad nominal | 10000/10000/3300 |
| | | Tensión nominal | 69/34,5/13,8 |
| | | Perdidas en vacío | 18,43 |
| | | Corriente magnetizante | 0 |
| | Configuración | Conexión | Estrella/Estrella/Delta |
| | | Desfase | YNyn0/YNd11 |
| | Impedancias de secuencia | Z1 | 6,43/7/6,5 |
| | | X1/R1 | 17/17/17 |
| | | Z0 | 6,43/17/17 |
| | | X0/R0 | 17/17/17 |
| Límites de carga | Límites de carga | Verano/Invierno | Primario / 10000kVA Secundario / 10000kVA Terciario / 3300kVA |

Fuente: Autor

Se crearon adicionalmente, los cuatro transformadores que pertenecen a la empresa CELEP Transelectric en las subestaciones Ibarra y Tulcan que sirven como conexión al sistema nacional de transmisión.

Finalmente en la ventana de la figura 27 se presentan los transformadores creados para la base de datos, así como también las características eléctricas del transformador con 3 devanados de la subestación Alpachaca.

Figura 27: Transformadores con tres devanados modelados para Emelnorte

Transformador con tres devanados

Buscar

Biblioteca CYME

Mi inventario

- ALPACHACA T3 10/12.5 MVA
- DEFAULT
- IBARRA ATQ 66.66 MVA
- IBARRA ATR 66.66 MVA
- IBARRA T1 40 MVA
- TULCAN ATQ 33 MVA

General | Límites de carga | Primer LTC | Segundo LTC | Fiabilidad | Símbolo

Datos nominales

| | Primario | Secundario | Terciario | |
|-------------------------|----------|------------|-----------|------|
| Capacidad nominal: | 10000,0 | 10000,0 | 3300,0 | kVA |
| Tensión nominal: | 69,0 | 34,5 | 13,8 | kVLL |
| Pérdidas en vacío: | 18,43 | | | kW |
| Corriente magnetizante: | 0,0 | | | % |

Configuración

Conexión:

Desfase: Prim-Sec: YNyn0, 0,0; Prim-Ter: YNd11, 30,0 deg.

Impedancias de secuencia

| | Prim-Sec | Prim-Ter | Sec-Ter | |
|--------|----------|----------|---------|---|
| Z1: | 6,43 | 7,0 | 6,5 | % |
| X1/R1: | 17,0 | 17,0 | 17,0 | |
| Z0: | 6,43 | 7,0 | 6,5 | % |
| X0/R0: | 17,0 | 17,0 | 17,0 | |

Impedancias de puesta a tierra

| Rg: | 0,0 | 0,0 | 0,0 | Ω |
|-----|-----|-----|-----|---|
| Xg: | 0,0 | 0,0 | 0,0 | Ω |

Aplicar | Aceptar | Cancelar

Fuente: Autor

2.5.4 Conductores

El material del conductor más utilizado en las redes de subtransmisión es el tipo ACSR y se encuentra presente en la mayoría de tramos. El detalle de conductores en cada tramo se encuentra adjunto en el Anexo D.1 y dependiendo del tipo de conductor se tomó las características adjuntas en el Anexo D.2.

Se nombró a los conductores en base al tipo de material, el tamaño del conductor y el voltaje con el que opera.

Tramo 1: Si se toma al tramo Pomasqui – Ibarra se tiene las características mostradas en la tabla 19:

Tabla 19: Características del conductor utilizado para el tramo Pomasqui - Ibarra

| Nombre de la línea | S/E Salida | S/E Llegada | Voltaje (kV) | Tipo | Calib | Cap Cond (A) | I máx (A) |
|--------------------|------------|-------------|--------------|------|-------|--------------|-----------|
| Pomasqui-Ibarra | Pomasqui | Ibarra | 138 | Hawk | 477 | 661 (670) | 670 |


Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte

A su vez es necesario conocer las características eléctricas del tipo de conductor, en este caso el conductor utilizado para el tramo de Pomasqui-Ibarra es del tipo Hawk, por lo que sus características eléctricas se detallan en la tabla 20:

Tabla 20: Características eléctricas del conductor Hawk

| Palabra clave | Área de aluminio, mil | Trenzado Al/St | Capas de aluminio | Diámetro exterior, pulgadas | Resistencia | | | RMG Ds, pies | Reactancia por conductor a 1 pie de espaciamiento, 60 Hz | |
|---------------|-----------------------|----------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------|---------------|--------------|--|----------------------------|
| | | | | | Dc, 20°C, Ω/1000 pies | CA, 60 Hz | | | Xa inductiva, Ω/milla | X'd capacitiva, MΩ . Milla |
| | | | | | | 20°C, Ω/milla | 50°C, Ω/milla | | | |
| Hawk | 477,000 | 26/7 | 2 | 0.858 | 0.0357 | 0.1931 | 0.2120 | 0.0289 | 0.430 | 0.0988 |

Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte

En la ventana de >Conductor, se creó un nuevo tipo de conductor en la opción >Agregar  y se nombró al mismo. La tabla 21 indica la configuración que se utilizó para crear el conductor del tramo Pomasqui – Ibarra

Nombre del conductor: ACSR 477/138kV

Tabla 21: Parámetros para la creación de Conductores

| PESTAÑA | ÍTEM | DATOS | INFORMACIÓN |
|---------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| GENERAL | Detalles de construcción | Palabra código | Hawk |
| | | Tipo | Aluminio con Alama de Acero |
| | | Material del conductor | Aluminio |
| | | Tamaño del conductor | 477 |
| | | Superficie total del conductor | Cálculo automático |
| | | Diámetro externo | 2,18 |
| | | Numero de alambres | 26 (Total) |
| | | RGM | 0,88 |
| | | Crte perman. nominal | Cálculo automático |
| | | Capac. De soporte de cc | |
| | Resistencia | R(ac) / T 25°C | 0,1200 |
| | | R(ac) / T 50°C | 0,1317 |

Fuente: Autor

Se realizaron las respectivas conversiones de forma que todos los valores se encuentren en el mismo sistema de unidades ya que los datos adjuntos en el Anexo D.2 se encuentran en el sistema de unidades inglés mientras que Cymdist en este caso está configurado con el sistema internacional.

Se crearon los tramos a 69kV presentes en la red de subtransmision de Emelnorte y los tramos a 138kV pertenecientes a la empresa CELEP Transelectric. Finalmente se tiene la ventana de la figura 28:

Figura 28: Conductores modelados para Emelnorte

The screenshot shows the 'Conductor' window with the following details:

- General Tab:**
 - Palabra código: HAWK
 - Tipo: ACSR - Conductor de alum. reforzado con acero
 - Material del conductor: ALUMINIO
 - Tamaño del conductor: 477,0 kcmil
 - Superficie total del conductor: 241,699 mm²
 - Diámetro externo: 2,18 cm
 - Número de alambres: 26 (Total)
 - R/GM: 0,88 cm
 - Crte perman. nominal: 670,0 A
 - Capac. de soporte de cc: 39113,04 A (Duración de la falla de 1 se)
- Resistencia Tab:**

| | R (cc) | R (ac) | T = |
|--|--------|------------|---------|
| | | 0,1200 Ω/m | 20,0 °C |
| | | 0,1317 Ω/m | 50,0 °C |
- Frecuencia:** 60,0 Hz

Fuente: Autor

2.5.5 Espaciamiento de circuitos simples

Permite establecer el espacio existente entre los conductores en una estructura de soporte. Se nombró al espaciamiento simple en base a la altura de la torre y el voltaje de operación.

Espaciamiento 1: Si se toma como ejemplo a la torre de subtransmisión a 69kV, estructura S1. En este caso, la configuración para su modelación se indica en la tabla 22.

Tabla 22: Parámetros para la creación de espaciamentos del circuito simple S1G

| PESTAÑA | DATOS | INFORMACIÓN |
|---------|--------------------------------|-------------------------|
| GENERAL | Tipo de datos de espaciamiento | Configuración detallada |
| | Configuración de la torre | Genérico |
| | Nro fases | 3 |
| | Nro conductores / fases | 1 |
| | Distancia de paquete | Cálculo automático |
| | Nro conductores neutro | 1 |
| | Coordenadas | Ítem i. |

Fuente: Autor

i. Asignación de coordenadas

La opción tomada para esta red es el tipo >Genérico lo que permitió establecer en coordenadas X e Y los conductores en la torre. Los pasos para determinar las coordenadas de los conductores considerando la estructura son:

- Convertir los valores de pies a metros y tomar como referencia 0 a la mitad de la torre desde el piso.
- Enumerar cada conductor acorde al criterio del usuario y llenar la tabla 23.

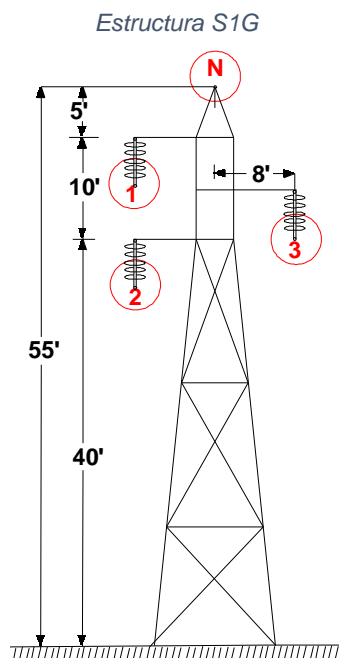


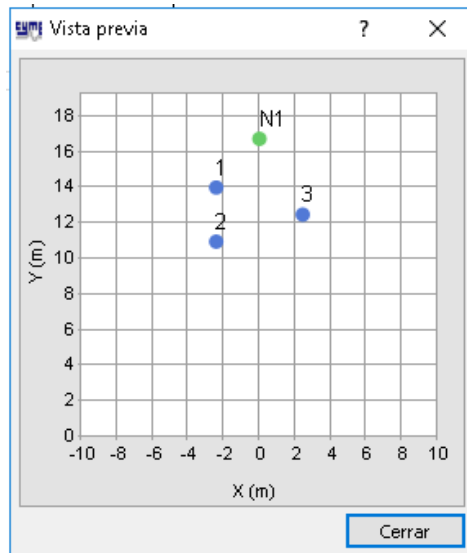
Tabla 23: Coordenadas de conductores estructura S1G

| | X | Y |
|----|-------|-------|
| 1 | -2,43 | 14,02 |
| 2 | -2,43 | 10,98 |
| 3 | 2,43 | 12,5 |
| N1 | 0,0 | 16,76 |

Fuente: Autor

Para visualizar los conductores en el plano X, Y, en la pestaña >Previsualizar, se tuvo el ejemplo de la figura 29.

Figura 29: Vista previa estructura S1G



Fuente: Autor

Se crearon los espaciamentos de circuitos simples presentes en la red de subtransmision de Emelnorte considerando todas las configuraciones geometricas de las torres que se detallaron en el capítulo I. Finalmente se tiene la ventana de la figura 30 donde se visualizan los espaciamentos de circuitos simples creados para la base de datos Subtransmisión.

Figura 30: Espaciamento de circuitos simples modelados para Emelnorte

La ventana muestra la configuración para un tipo de datos de espaciamento de 'Configuración detallada'. La configuración de la torre es 'Genérico'. Las distancias a: 0,0 m, b: 0,0 m, c: 0,0 m, d: 0,0 m, e: 0,0 m, f: 0,0 m. Las coordenadas (en metros) son:

| | X | Y |
|----|-------|-------|
| 1 | -2,43 | 14,02 |
| 2 | -2,43 | 10,98 |
| 3 | 2,43 | 12,5 |
| N1 | 0,0 | 16,76 |

Los parámetros de configuración son: Nro Fases: 3, Nro conductores / fase: 1, Distancia de paquete (h): 0,01 m, Nro conductores neutros: 1.

Fuente: Autor

2.5.6 Espaciamiento de circuito doble

Se nombró al espaciamiento doble en base a la altura de la torre y el voltaje de operación.

Espaciamiento 1: Si se toma como ejemplo a la estructura del tramo Pomasqui – Ibarra que opera a un nivel de voltaje de 138kV. En la tabla 24 se indica la configuración que se utilizó para crear el tramo.

Tabla 24: Parámetros para la creación del espaciamiento simple AS900FT

| PESTAÑA | DATOS | INFORMACIÓN |
|---------|--------------------------------|-------------------------|
| GENERAL | Tipo de datos de espaciamiento | Configuración detallada |
| | Configuración de la torre | Genérico |
| | Nro fases | 3 |
| | Nro conductores / fases | 1 |
| | Distancia de paquete | Cálculo automático |
| | Nro conductores neutro | 2 |
| | Coordenadas | Ítem i. |

Fuente: Autor

2.6 Espaciamiento de circuito doble

El procedimiento para crear un nuevo espaciamiento doble es similar al empleado para crear espaciamientos simples, por lo que en la tabla 25 se presenta las coordenadas obtenidas en metros.

Estructura SPAN 800FT

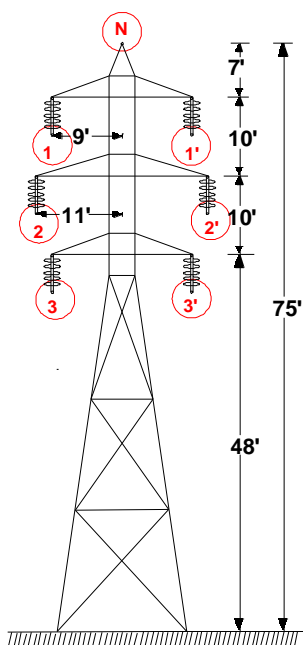


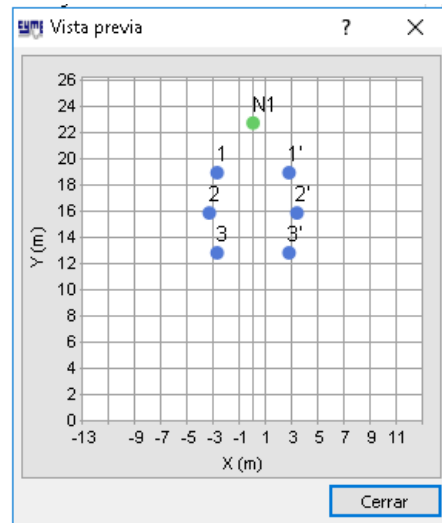
Tabla 25: Coordenadas de conductores estructura S1G

| | X | Y |
|----|-------|-------|
| 1 | -2,75 | 19,05 |
| 2 | -3,35 | 15,97 |
| 3 | -2,75 | 12,92 |
| 1' | 2,75 | 19,05 |
| 2' | 3,35 | 15,97 |
| 3' | 2,75 | 12,92 |
| N1 | 0,0 | 22,85 |

Fuente: Autor

Del mismo modo, al seleccionar la vista previa se obtuvo la ventana de la figura 31.

Figura 31: Vista previa estructura S1G



Fuente: Autor

Se crearon los espaciamentos de circuitos dobles presentes en la red de subtransmision de Emelnorte considerando todas las configuraciones geometricas de las estructuras de soporte dobles que se detallaron en el capítulo I. Finalmente se tiene la ventana de la figura 32:

Figura 32: Espaciamento de circuito doble modelados para Emelnorte

| | X | Y |
|----|-------|-------|
| 1 | -3,35 | 22,07 |
| 2 | -4,26 | 18,41 |
| 3 | -3,35 | 14,75 |
| 1' | 3,35 | 22,07 |
| 2' | 4,26 | 18,41 |
| 3' | 3,35 | 14,75 |
| N1 | -2,24 | 25,9 |
| N2 | 2,24 | 25,9 |

Fuente: Autor

2.6.1 Interruptor automático


Se Nombró al equipo en base a su fabricante, el nivel voltaje y el amperaje con el que opera. El detalle de todos los interruptores de Emelnorte se detallan en el Anexo E junto a sus características eléctricas.

Interruptor automático 1: Si se como ejemplo toma al interruptor de 2 de la subestación Cayambe se tiene las características mostradas en la tabla 26:

Tabla 26: Características eléctricas del interruptor G2 de la subestación Cayambe

| S/E | Localización | Apertura | V (kV) | Marca | Tipo | Norma | Vn (kV) | In (A) | In de int. (kA) | I cort dur, 3 s (kA) | T de ap (s) |
|---------|-----------------------|------------|--------|--------------|--------|---------------|---------|--------|-----------------|----------------------|-------------|
| Cayambe | Transformador Shaanxi | General T2 | 13,8 | Bauen Efacec | CPI24D | IEC 62271-100 | 24 | 1250 | 25 | 63 | - |

Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte

En la ventana de >Interruptor automático, se creó un nuevo equipo en la opción >Agregar  y se nombró al mismo. La tabla 27 indica la configuración que se utilizó para crear el interruptor Bauen Efacec.

Nombre del equipo: BAUEN EFACEC 13.8kV /1250A

Tabla 27: Parámetros para la creación del interruptor 2 de la subestación Cayambe

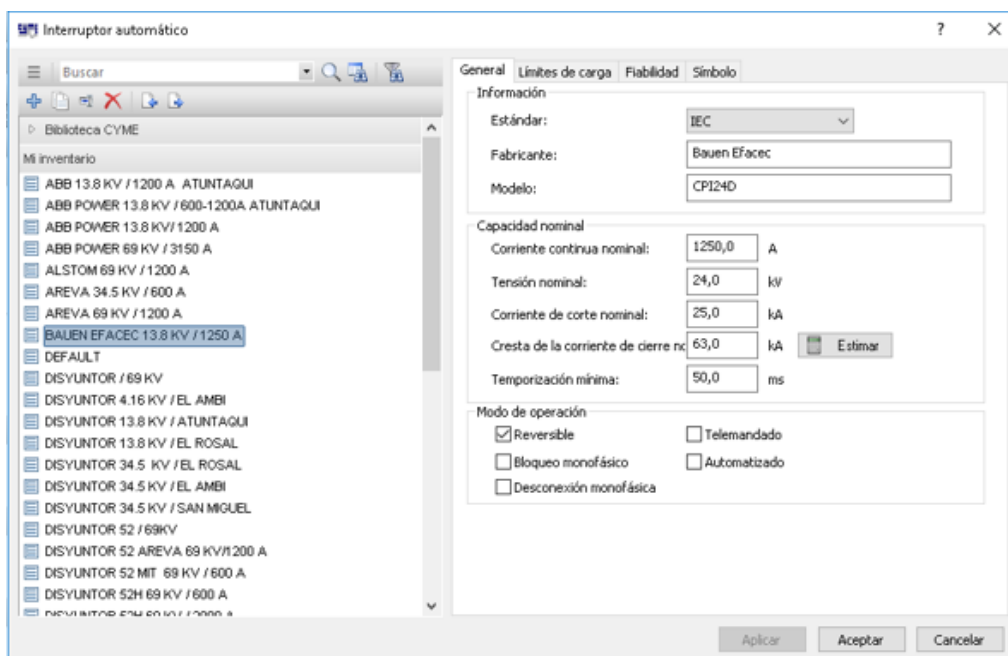
| PESTAÑA | ÍTEM | DATOS | INFORMACIÓN |
|---------|-------------------|--|---------------|
| GENERAL | Información | Estándar | IEC 62271-100 |
| | | Fabricante | Bauen Efacec |
| | | Modelo | CPI24D |
| | Capacidad nominal | Corriente continua nominal | 1250 |
| | | Tensión nominal | 24 |
| | | Valor de interrupción | 25 |
| | | Cresta de la corriente de cierre nominal | 63 |
| | | Temporización mínima | 50ms |
| | Modo de operación | | Reversible |

Fuente: Autor

Se crearon todos los interruptores de los alimentadores y tramos de las subestaciones de distribución de Emelnorte. Finalmente se tiene la ventana de la figura 33 donde se muestran

todos los equipos creados así como también las características eléctricas del interruptor 2 de la subestación Cayambe.

Figura 33: Interruptores automáticos modelados para Emelnorte



Fuente: Autor

2.6.2 Seccionadores


Para la creación de seccionadores se nombró al equipo con la leyenda: Seccionador, tipo, nivel de voltaje y corriente de operación. El detalle de todos los seccionadores de la red de Emelnorte se adjuntan en el Anexo F.

Seccionador 1: Si se toma como ejemplo al seccionador 1 de la subestación La Esperanza se tiene las características mostradas en la tabla 28:

Tabla 28: Características eléctricas del Seccionador 89HL

| Subestación | Localización | Apertura | Equipo | V (kV) | Vn (kV) | In (A) | In de interrupción (kA) |
|--------------|--------------|----------|------------------|--------|---------|--------|-------------------------|
| La Esperanza | Línea | Cayambe | Seccionador 89HL | 69 | 72,5 | 600 | - |

Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte

En la ventana de >Seccionador, se creó un nuevo equipo en la opción >Agregar  y se nombró al mismo. La tabla 29 indica la configuración que se utilizó para crear el seccionador 89HL.

Nombre del equipo: SECCIONADOR 89HL 69KV / 600 A

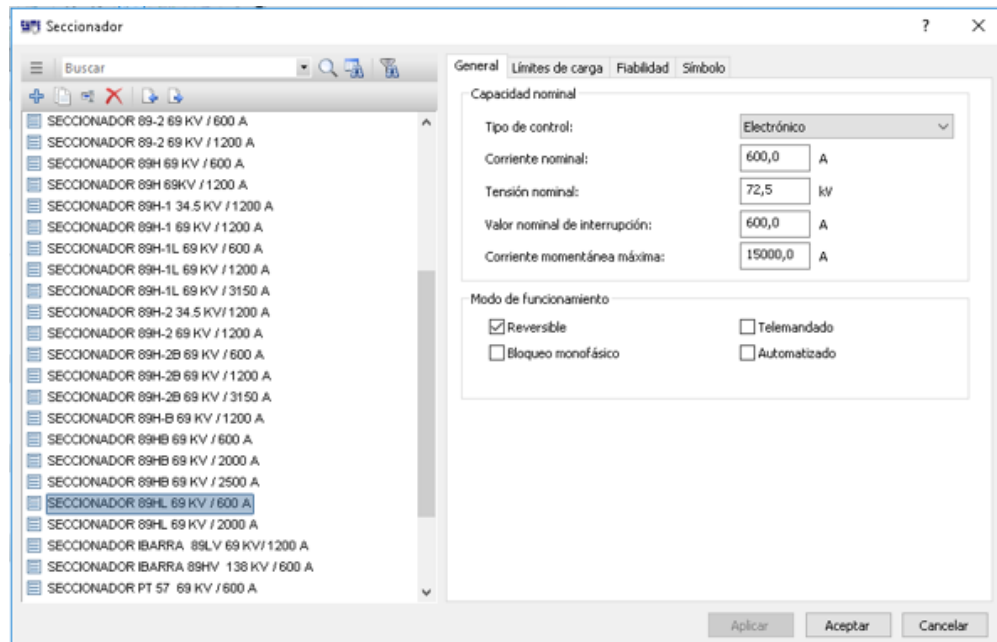
Tabla 29: Parámetros para la creación del seccionador 89HL

| PESTAÑA | ÍTEM | DATOS | INFORMACIÓN |
|---------|------------------------|-------------------------------|-------------|
| GENERAL | Capacidad nominal | Tipo de control | Electrónico |
| | | Corriente nominal | 600 |
| | | Tensión nominal | 72,5 |
| | | Valor nominal de interrupción | |
| | | Corriente momentánea máxima | |
| | Modo de funcionamiento | | Reversible |

Fuente: Autor

Se crearon todos los seccionadores de los alimentadores y tramos de las subestaciones de distribución de Emelnorte. Finalmente se tiene la ventana de la figura 34 donde se visualizan todos los equipos creados así como también las características eléctricas del seccionador 89HL.

Figura 34: Seccionadores modelados para Emelnorte



Fuente: Autor

2.7 Condensadores

Los condensadores utilizados para la modelación fueron los tipos shunt. En este caso se nombró al equipo en base a la subestación a la que pertenecen y numero de condensador en caso de existir más de uno. La tabla 30 detalla los condensadores existentes en la red de subtransmisión de Emelnorte.

Tabla 30: Características eléctricas de los condensadores de Emelnorte

| N° | S/E | V (kV) | Fases circuito | Q (kVar) | Vn (kV) | F (Hz) | BIL (kV) | Fase | C/ fase | Cantidad total | Qn (MVar) |
|----|--------------|--------|----------------|----------|---------|--------|----------|------|---------|----------------|-----------|
| 1 | La Esperanza | 13,8 | 3 | 200 | 7,96 | 60 | 38/95 | 1 | 2 | 6 | 1,2 |
| 2 | La Esperanza | 13,8 | 3 | 400 | 7,96 | 60 | 38/95 | 1 | 2 | 6 | 2,4 |
| 3 | Cayambe | 13,8 | 3 | 200 | 7,96 | 60 | 125 | 1 | 5 | 15 | 3 |
| 4 | Otavallo | 13,8 | 3 | 200 | 7,96 | 60 | 125 | 1 | 5 | 12 | 2,4 |
| 5 | Atuntaqui | 13,8 | 3 | | 7,967 | | | | | 0 | 0,6 |
| 6 | Cotacachi | 13,8 | 3 | 200 | 7,96 | 60 | 38/95 | 1 | 2 | 3 | 0,6 |
| 7 | El Retorno | 13,8 | 3 | 200 | 7,96 | 60 | 150 | 1 | 3 | 9 | 1,8 |
| 8 | San Agustín | 13,8 | 3 | 200 | 7,96 | 60 | 150 | 1 | 2 | 6 | 1,2 |
| 9 | Ajaví | 13,8 | 3 | 200 | 7,96 | 60 | 125 | 1 | 2 | 6 | 1,2 |
| 10 | San Gabriel | 13,8 | 3 | 200 | 7,96 | 60 | 125 | 1 | 1 | 3 | 0,6 |


Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte

Condensador 1: Si se toma como ejemplo al condensador 1 de la subestación La Esperanza que trabaja con un nivel de voltaje de 13,8kV se tiene los parámetros de la tabla 31:

Tabla 31: Características eléctricas del condensador 1 de la subestación La Esperanza

| N ° | Subestación | Voltaje (kV) | Fases circuito | Q (kVar) | Vn (kV) | Frecuencia (Hz) | BIL (kV) | Fase | Cantidad por fase | Cantidad total | Qn (MVar) |
|-----|--------------|--------------|----------------|----------|---------|-----------------|----------|------|-------------------|----------------|-----------|
| 1 | La Esperanza | 13,8 | 3 | 200 | 7,96 | 60 | 38/95 | 1 | 2 | 6 | 1,2 |

Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte

En la ventana de >Condensador shunt, se creó un nuevo equipo en la opción >Agregar  y se nombró al mismo La tabla 32 indica la configuración que se utilizó para crear el condensador 1 de la subestación La Esperanza:

Nombre del equipo: LA ESPERANZA C1

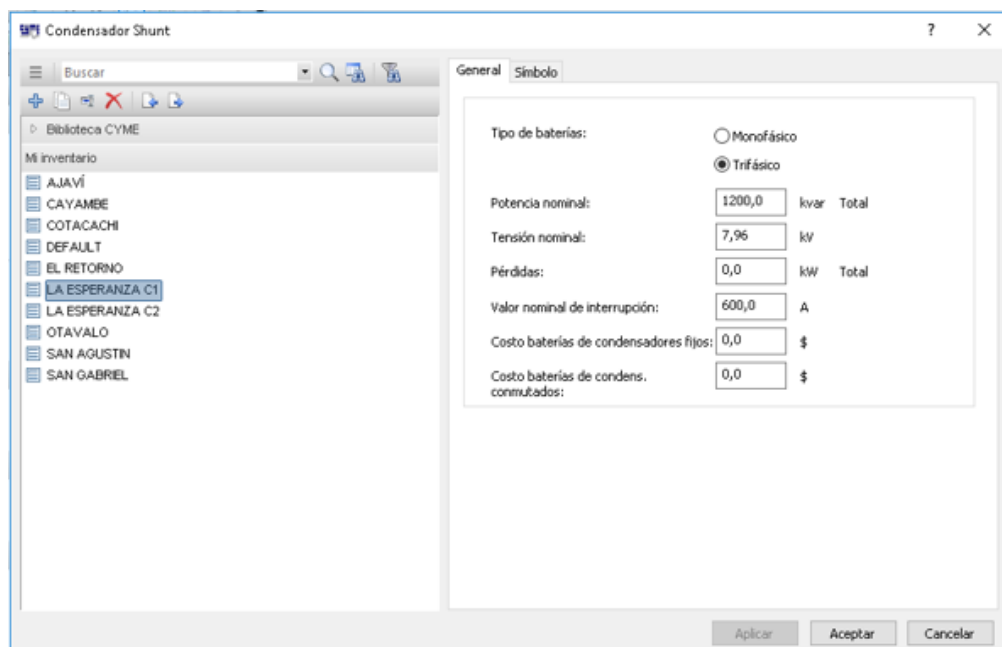
Tabla 32: Parámetros para la creación del condensador 1 de la S/E La Esperanza

| PESTAÑA | DATOS | INFORMACIÓN |
|---------|-------------------------------|-------------|
| GENERAL | Tipo de baterías | Trifásico |
| | Potencia nominal | 1200 |
| | Tensión nominal | 1,96 |
| | Pérdidas | 0 |
| | Valor nominal de interrupción | 600 |

Fuente: Autor

Se crearon todos los condensadores en las subestaciones equiparadas con ese equipo. Finalmente, en la figura 35 se muestran todos los equipos creados para la base de datos >Subtransmisión.

Figura 35: Condensadores modelados para Emelnorte



Fuente: Autor

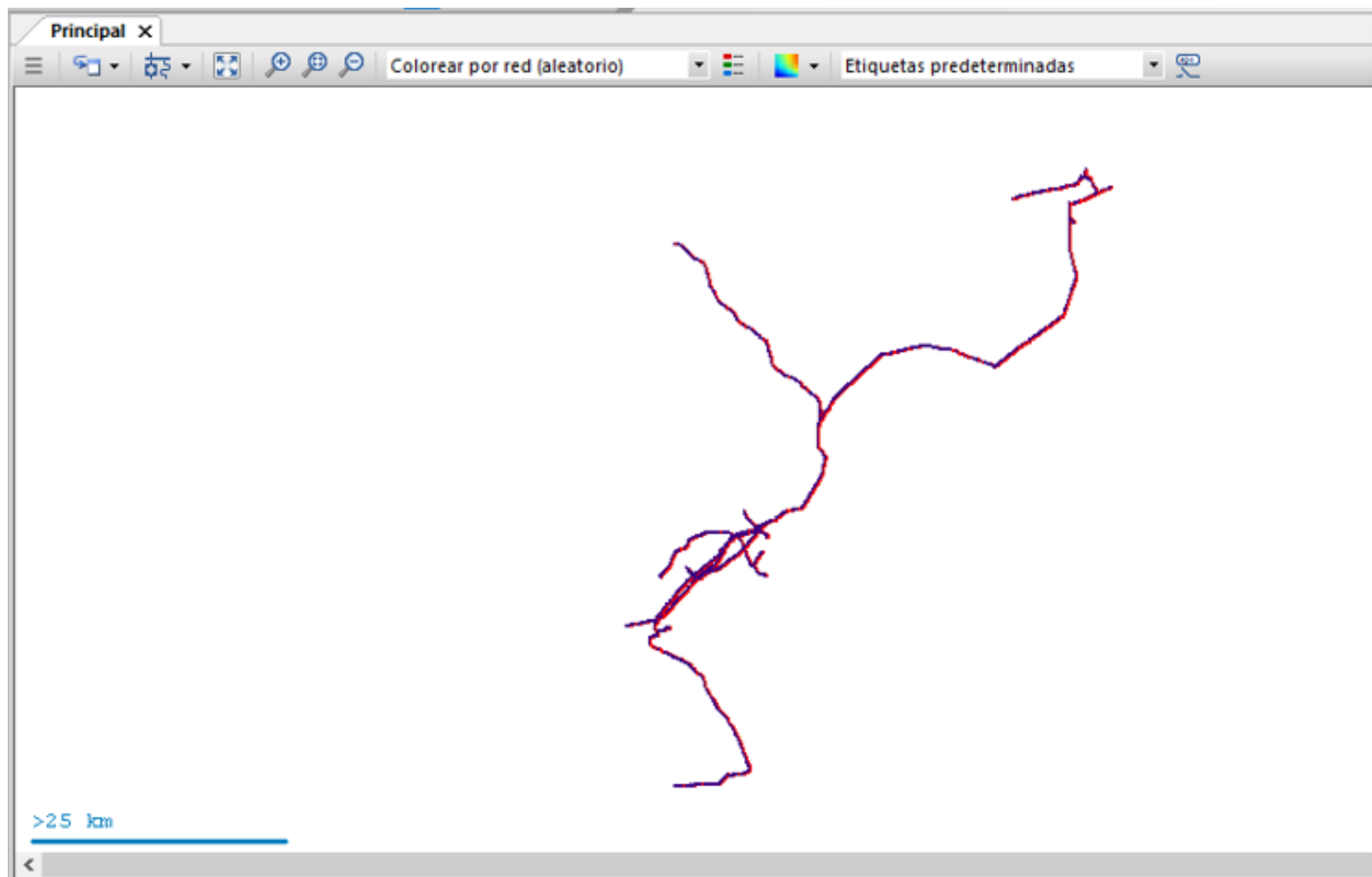
2.8 Cargar archivos a la base de datos

Se tomaron los archivos Torres_Subtransmision.shp y Tramo_Subtransmision.shp que contienen información georreferenciada de los puntos de las torres y los tramos del sistema de subtransmisión, información que se encuentra disponible en el programa ArcGIS que dispone Emelnorte.

Al cargar los archivos se activan los puntos georreferenciados como se aprecia en la figura 36. Se puede configurar al archivo para que se visualice de forma dinámica, se puede cambiar el color del tramo, el grosor de la línea o aumentar el diámetro de los puntos.

El color rojo representa a los puntos de las estructuras de soporte (torres de subtransmisión) mientras que el color lila representa a los tramos de las redes de subtransmisión

Figura 36: Puntos georreferenciados del sistema de subtransmisión de Emelnorte



Fuente: Autor

2.8.1 Agregar subestaciones eléctricas

Después de crear todos los equipos y los conductores del sistema de subtransmisión de Emelnorte se continuó con la creación de las subestaciones reductoras que operan con el nivel de voltaje 138-69kV de CELEP Transelectric EP y se finalizó con las subestaciones de distribución que operan con el nivel de voltaje de 69/13,8kV pertenecientes a Emelnorte.

Para conocer la ubicación de cada subestación se utilizó las coordenadas que se muestran en la tabla 33.

Tabla 33: Coordenadas de las subestaciones eléctricas.

| S/E | PERTENECE A | X | Y |
|--------------|---------------|------------|--------------|
| Pomasqui | Transelectric | 784938,54 | 9994093,077 |
| Ibarra | Transelectric | 815298,723 | 10039578,23 |
| Tulcán | Transelectric | 864882,295 | 10085434,491 |
| El Rosal | Emelnorte | 867817,729 | 10090755,388 |
| Tulcán | Emelnorte | 864191,742 | 10088503,185 |
| San Gabriel | Emelnorte | 853260,460 | 10064449,866 |
| El Ángel | Emelnorte | 840527,389 | 10067193,861 |
| El Chota | Emelnorte | 828018,828 | 10052234,386 |
| La Carolina | Emelnorte | 806607,688 | 10082469,090 |
| Alpachaca | Emelnorte | 818943,249 | 10040619,860 |
| Ajaví | Emelnorte | 820002,907 | 10039480,827 |
| Atuntaqui | Emelnorte | 808239,869 | 10035253,518 |
| San Agustín | Emelnorte | 819187,026 | 10037645,276 |
| El Retorno | Emelnorte | 819980,777 | 10034126,310 |
| San Vicente | Emelnorte | 805878,458 | 10026215,253 |
| Otavalo | Emelnorte | 803550,120 | 10025209,834 |
| Cayambe | Emelnorte | 817387,856 | 10005683,545 |
| La Esperanza | Emelnorte | 806063,666 | 10003408,124 |
| Cotacachi | Emelnorte | 804384,088 | 10033884,384 |

Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte

Una vez localizada la ubicación de la subestación, se creó la vista imbricada de la misma.

Subestación 1: Si se toma como ejemplo a la subestación Pomasqui que opera con un nivel de voltaje a 138kV, en la tabla 34 se indica la configuración que se utilizó para la creación del mismo:

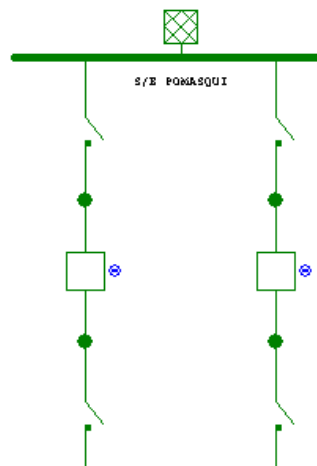
Tabla 34: Parámetros para la creación de una vista imbricada de la subestación Pomasqui

| PESTAÑA | ÍTEM | DATOS | INFORMACIÓN |
|-------------|----------------------------------|------------------|---------------------------------------|
| RED | Red | Nombre | S/E POMASQUI |
| | | Tipo de red | Subestación |
| | | Medio Ambiente | Desconocido |
| | | Color | Escoger el color deseado |
| | Grupo de redes | Área | Emelnorte |
| | | Nivel de tensión | 138kV |
| | | Región | Norte |
| | Despliegue de la red | Despliegue | Mostrar dentro de una vista imbricada |
| | | Nombre | POMASQUI |
| | | Esquemático | Esquemático |
| FUENTE | Fuente | Tipo de fuente | Equivalente definido por el usuario |
| EQUIVALENTE | Modo de carga | Modelo | Default |
| | Tensiones equivalentes de la red | Nominal | 138kV |
| | | Servicio | Por unidad |
| | | Angulo | Dato Automático |

Fuente: Autor

Con su vista imbricada se modeló la subestación a través de su diagrama unifilar. Para este caso al no disponer de la información exacta del diagrama se utilizó un equivalente de red obtenido de los datos en DigSILENT y se modeló únicamente la red que va hacia Ibarra. La figura 37 muestra la modelación de la subestación Pomasqui.

Figura 37: Modelado de equipos de la subestación Pomasqui.



Fuente: Autor

Después de modelar cada subestación, se asignó a todos los equipos por Default, sus características eléctricas. Los diagramas unifilares de todas las subestaciones se encuentran en el Anexo G.

2.9 Relés de sobrecorriente

Un relé es un equipo que protección que actúa cuando ocurre una sobrecorriente y normalmente protege a redes primarias, sistemas de subtransmisión o transformadores de potencia. Estos equipos no se crearon al inicio ya que es necesario terminar de modelar la subestación con su diagrama unifilar respectivo.

Relé de sobrecorriente 1: Si se toma como ejemplo al relé del alimentador 1 de la subestación La Esperanza, se tiene los datos de la tabla 35:

Tabla 35: Características eléctricas del condensador shunt de la subestación la esperanza

| Zona | V (kV) | Relé | Marc a | Tipo | Tecnología | Norm a | RTC Protección | | | Clase TC | Línea | Model o | Tipo curva | Tap | Tap (A) | Dia I | Inst | Inst (A) |
|------|--------|-------|--------|-------|------------|--------|----------------|---|---|----------|---------|---------|------------|------|---------|-------|------|----------|
| C1 | 13,8 | 50/51 | ABB | SPA A | Numérico | IEC | 200 | / | 5 | 10P20 | fase | 341C2 | Very Inv | 0,8 | 160 | 0,2 | 3,45 | 690 |
| | | | | | | | | | | | neutr o | 341C2 | Very Inv | 0,24 | 48 | 0,2 | 3,45 | 690 |

Fuente: Departamento de estudios eléctricos de Emelnorte

La tabla 36 indica la configuración que se utilizó para crear el relé de sobrecorriente del alimentador 1 de la subestación >La Esperanza.

Tabla 36: Parámetros para la creación de un relé de sobrecorriente

| | | |
|------------------------------------|--------------------|-----------------|
| Relé de sobrecorriente | Numero | Dafault |
| | Estado | Conectado |
| | Texto del símbolo | 50/51 |
| | Tipo de protección | Fase |
| General | Tipo | Electrónico |
| | Fabricante | ABB SPAA |
| | Modelo | Muy inverso |
| Ajustes TCC | | Calculo ítem i. |
| Umbral y retardo de disparo | | Dato automático |

Fuente: Autor

i. Ajustes TCC

Al seleccionar la pestaña >Ajustes TCC se estableció datos como: >Cuadrante, Toma L, Intervalo de tomas y Umbral al disparo primario. También en la una opción >Formula se verificó que cada equipo tenga su modelo adecuado tomando en cuenta las fórmulas de relés de sobrecorriente según la NORMA IEC 60255-3, mismas que son:

- **Normal Inversa**

$$t = TMS * \frac{0,14}{I_r^{0,02} - 1}$$

- **Muy Inversa**

$$t = TMS * \frac{13,5}{I_r - 1}$$

- **Extremadamente Inversa**

$$t = TMS * \frac{80}{I_r^2 - 1}$$

Finalmente se crearon los relés de sobrecorriente presentes en los alimentadores de las subestaciones de distribución de la empresa Emelnorte.

2.10 Agregar Centrales de Generación

El procedimiento para crear las centrales generadoras es igual al proceso de subestaciones. Las coordenadas se presentan en la tabla 37.

Tabla 37: Coordenadas de los centros de generación que operan en Emelnorte

| CENTRAL DE GENERACIÓN | X | Y |
|-------------------------------|------------|--------------|
| Molinos la Unión | 815549,935 | 10001096,36 |
| Ecuajugos | 817478,034 | 10004723,05 |
| San Gerónimo-Hidrocarolina | 809857,461 | 10080381,94 |
| Hidromira | 783098,2 | 10097972,27 |
| Gransolar | 814775,349 | 10053682,67 |
| Electrocordova | 860773,809 | 10066991,18 |
| GAD Espejo | 841278,727 | 10068601,12 |
| Cotacachi | 805415,885 | 10031787,74 |
| Otavaló I | 804311,475 | 10029306,2 |
| Otavaló II | 804476,778 | 10030476,02 |
| SEERMA I-Industria Algodonera | 808035,452 | 10038520,87 |
| SEERMA II -Atuntaqui | 807260,476 | 10037435,85 |
| Paragachi | 840308,248 | 100460083,41 |

Fuente: Departamento de SIG Emelnorte

De igual forma que en las subestaciones se modeló a cada central de generación a través de su diagrama unifilar y se asignaron sus respectivos equipos.

2.10.1 Líneas de transporte

Las líneas de transporte permitieron unir cada subestación de salida con la de llegada y para realizar este proceso se utilizó el diagrama unifilar de Emelnorte. Por ello, partiendo desde la subestación Ibarra se continuó con la línea sea simple o sencilla a cada subestación.

Si se toma como ejemplo al tramo Ibarra – UNACEM, se tiene la figura 38 donde se muestra las características que se asignaron a este tramo.

Figura 38: Propiedades del tramo Ibarra-UNACEM

Fuente: Autor

Estas características se mantienen después de crear los tramos posteriores. Finalmente, en la figura 39 se presenta la línea de transporte para el tramo Ibarra-UNACEM

Figura 39: Modelo del tramo UNACEM georreferenciado

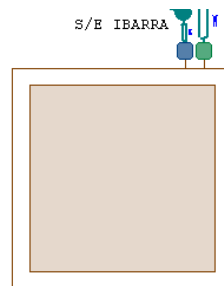


Fuente: Autor

2.11 Conexión de subestaciones con la red de transporte

Después finalizada la modelación y asignado sus respectivas características eléctricas a todos los equipos, se procedió a conectar las subestaciones con las líneas de transporte y para saber si la conexión se realizó de forma correcta se verifico que el punto exterior de la vista imbricada tenga una forma cuadrada tal como se muestra en la figura 40 y no circular.

Figura 40: Vista imbricada S/E Ibarra



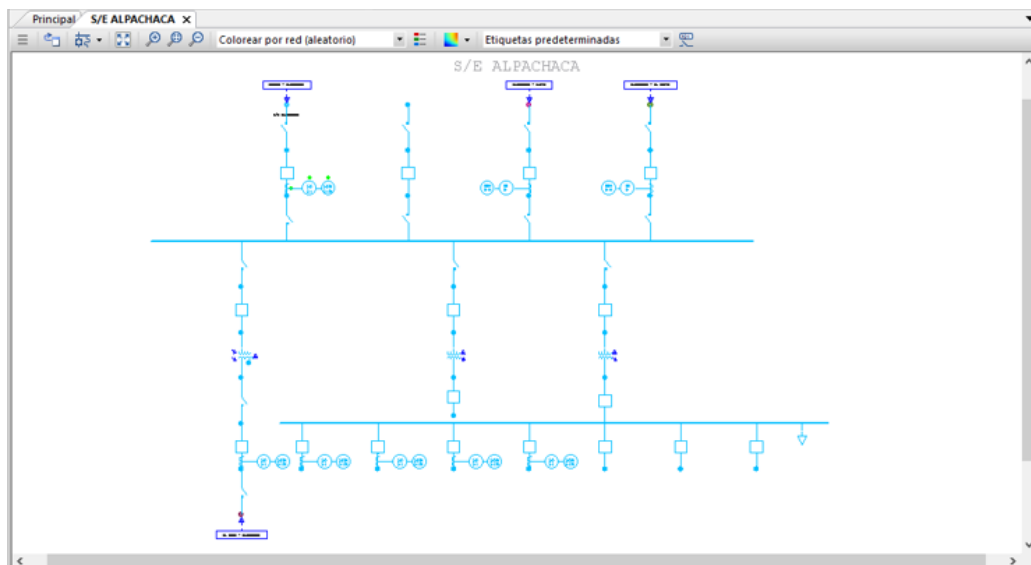
Fuente: Autor

El proceso se realiza de forma similar para todas las subestaciones con líneas de transporte simples y dobles.

2.12 Modelo del sistema de subtransmisión en Cymdist

En la figura 41 se puede observar el modelo de la subestación Alpachaca representada a través de su diagrama unifilar donde; todas sus líneas de transporte están conectadas a la subestación y todos los equipos tienen asignadas sus características eléctricas.

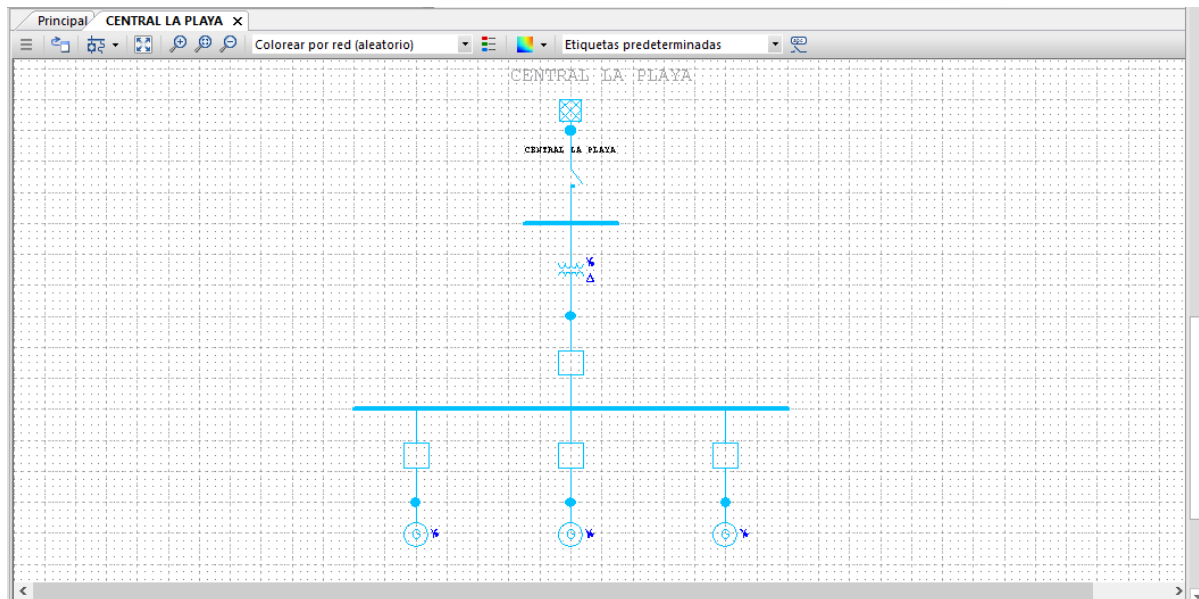
Figura 41: Diagrama unifilar de la subestación Alpachaca modelada en Cymdist



Fuente: Autor

El modelo para las centrales generadoras es similar, variando únicamente en su diagrama unifilar respectivo. La figura 42 muestra el diagrama unifilar de la central hidroeléctrica La Playa.

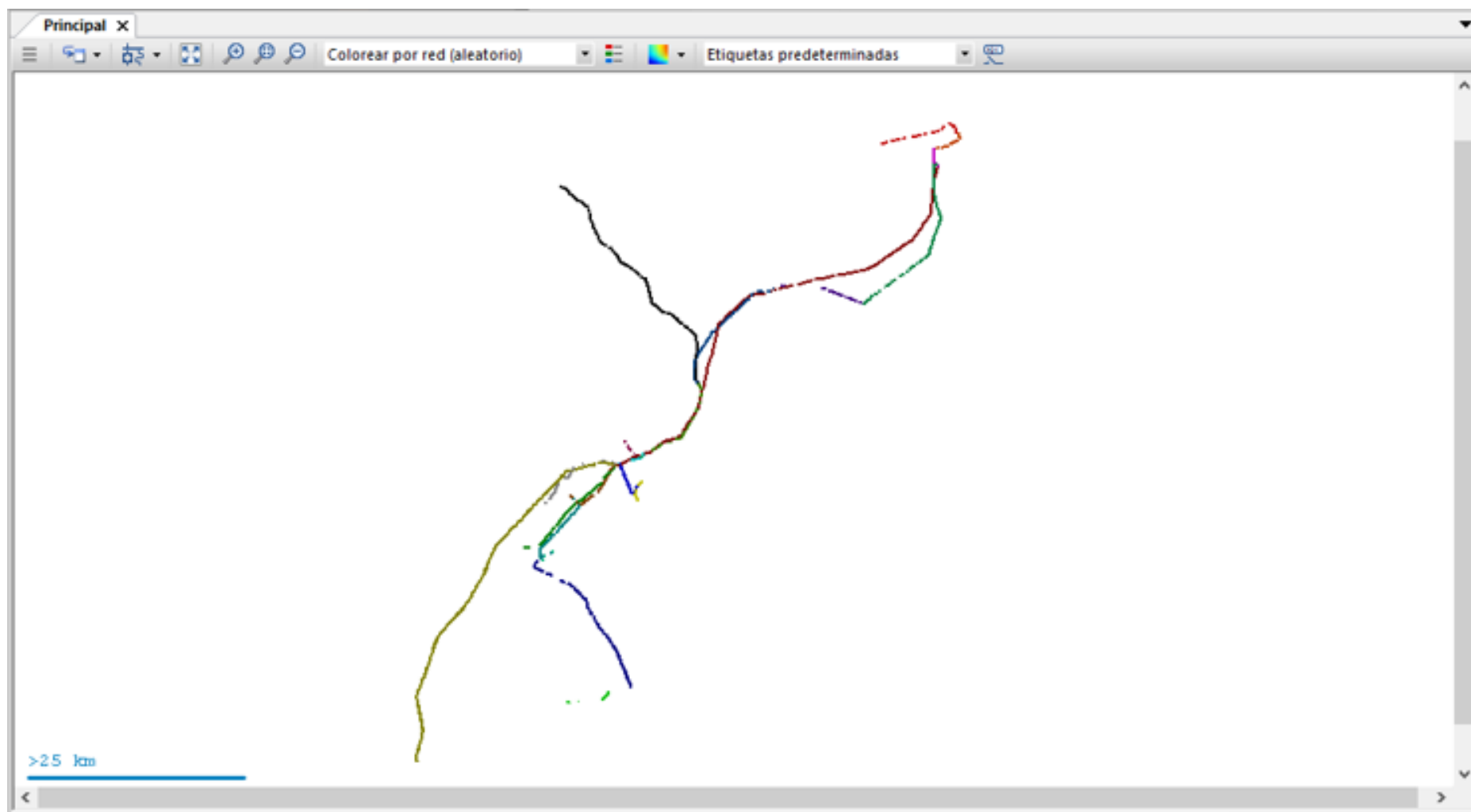
Figura 42: Diagrama unifilar de la central La Playa



Fuente: Autor

Finalmente, de forma general se tiene el modelo de la figura 43, donde se observa el sistema de subtransmisión en su totalidad con las vistas imbricadas de subestaciones / centrales y líneas de transporte.

Figura 43: Modelo del sistema de subtransmisión de Emelnorte en Cymdist



Fuente: Autor

CAPÍTULO 3

Importación de datos y Análisis de resultados

3.1 Introducción

Emelnorte obtiene una base de datos actualizados del sistema de Distribución en media tensión a través de la página web institucional NAS (Network Attached Storage); aquí se realiza cada mes un levantamiento de todos los equipos nuevos que entran en funcionamiento y los cambios o expansión de redes en medio voltaje. La base de datos del sistema de distribución se la obtiene mediante la migración de la información del sistema ArcGIS al programa Cymdist. Para la integración de los dos sistemas se utilizó la Base de Diciembre del sistema de distribución y la Base Subtransmisión creada en el presente proyecto.

La base de datos del sistema de Subtransmisión tiene menos equipos comparados con el sistema de distribución, por lo que ocupa menos espacio de memoria. Debido a esta característica se realizó la migración de todo el sistema de subtransmisión al sistema de distribución facilitando así la importación de datos.

Se realizaron dos tipos de pruebas para el análisis de resultados: prueba de cortocircuito bajo la norma IEC 906069 en todas las barras a 69/13,8kV de las subestaciones de distribución y el análisis de flujo de carga. Las maquinas rotatorias como generadores, motores y condensadores son fuentes de alimentación de corrientes de cortocircuito hacia una falla, por ello, se realizó la prueba de cortocircuito después de cargar únicamente los alimentadores que conectan a las centrales de generación y todo el sistema de subtransmisión creado, debido al tiempo de respuesta.

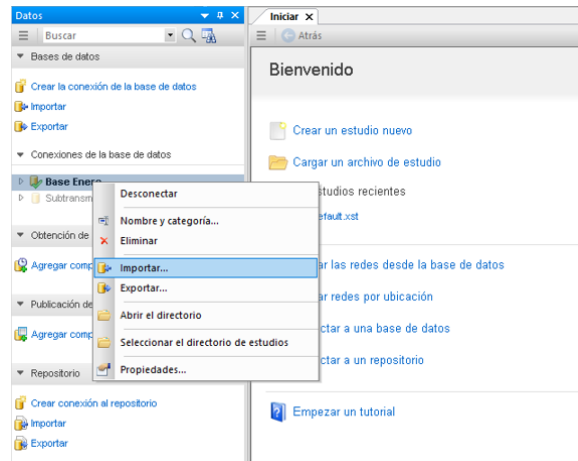
Posteriormente se realizó un análisis comparativo de los valores obtenidos con los valores que Emelnorte dispone al realizar las pruebas en DigSILENT, para comprobar la efectividad del sistema de subtransmisión modelado y finalmente se creó un manual de procedimientos en el cual se detalla cada una de las actividades necesarias para crear equipos, estructuras de soporte y configuración del sistema de subtransmisión.

3.2 Importación de la red de Distribución a la red de Subtransmisión

Cargar las dos bases de datos (Subtransmisión y Distribución) al programa Cymdist y activar o conectar la base en la que se va a realizar la importación de datos.

La opción *>Importar* se obtiene al hacer clic derecho sobre la base seleccionada *>Base Enero*, como se muestra en la figura 44. Aparece una ventana donde se debe elegir el tipo de datos de origen; elegir la opción *>Base de datos CYME*.

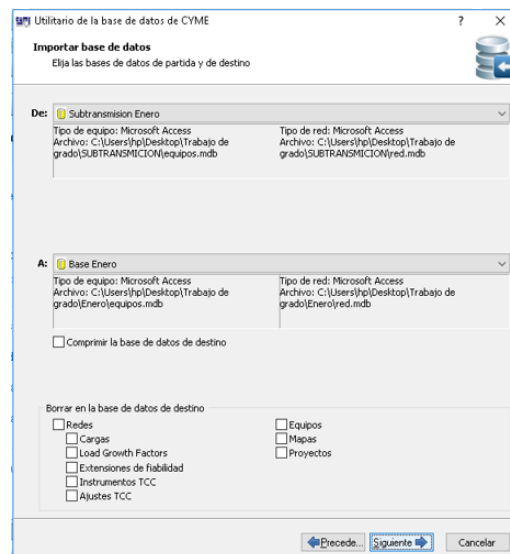
Figura 44: Procedimiento para la importación de datos



Fuente: Autor

En la siguiente ventana elegir la carpeta de donde se va a importar y hacia donde, por lo que se eligió la carpeta de *>Base Subtransmisión* a *>Base Enero*; el detalle se muestra en la figura 45:

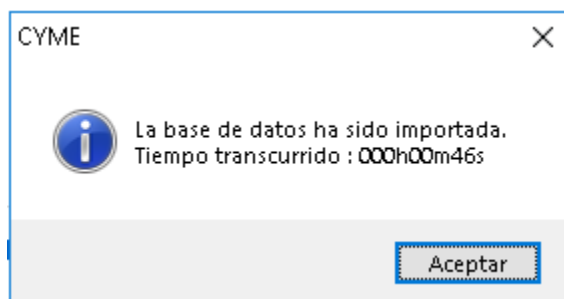
Figura 45: Ventana importar base de datos



Fuente: Autor

Seguidamente aparecen todas las redes y equipos que se crearon al inicio para la modelación del sistema de subtransmisión; seleccionar todas las opciones y presionar >Importar. El proceso tarda de 1 a 3 minutos y se activa el aviso de la figura 46 para informar que el proceso se realizó de forma correcta.

Figura 46: Ventana de aviso de importación



Fuente: Autor

3.3 Conexión de Alimentadores con la red de Subtransmisión

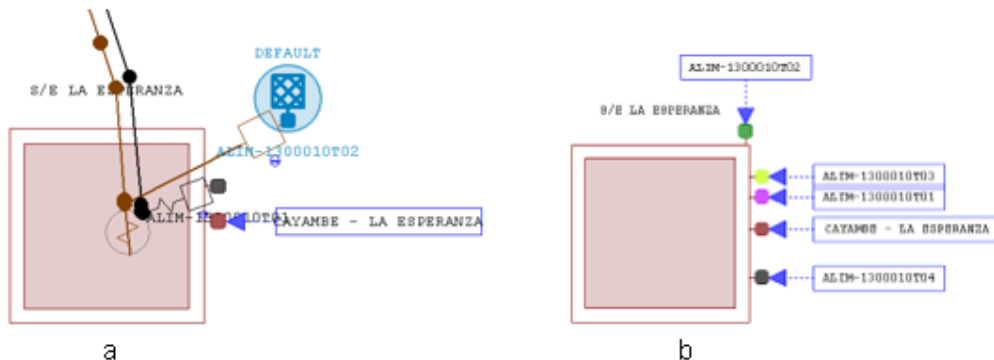
Después de importar la base de datos de la red de subtransmisión creada a la de distribución, se procedió a conectar todos los alimentadores a las subestaciones y redes a las centrales de generación.

3.3.1 Subestaciones

Todas las subestaciones están compuestas por 3 o 5 alimentadores y para conectarlos se activó cada subestación junto a su alimentador, se eligió la fuente de red otorgada por la base de distribución y se arrastró hacia la vista imbricada.

La figura 47.a muestra la fuente de red del alimentador 2 de la subestación La Esperanza mientras que la figura 47.b muestra la conexión de todos los alimentadores con la subestación.

Figura 47: Conexión de la subestación La Esperanza con sus alimentadores



Fuente: Autor

Otro método es nombrar a cada nodo de conexión con el mismo nombre del alimentador después de modelar el diagrama unifilar de cada subestación. De esta forma al realizar la importación de datos, todos los alimentadores se conectan automáticamente.

La tabla 38 indica la nomenclatura para ambos casos; en caso de conectar manualmente cada alimentador utilizar los datos de alimentador para conocer a qué subestación pertenecen y en caso de conectar automáticamente se indica los nombres de cada alimentador con el que se debe nombrar a cada nodo de conexión.

Tabla 38: Nomenclatura de alimentadores de las subestaciones de distribución.

| Subestación | Alimentador | Nombre de la fuente |
|--------------------|--------------------|----------------------------|
| La Esperanza | ALIM-1300010T01 | NODOFUENTE-3879 |
| | ALIM-1300010T02 | NODOFUENTE-3881 |
| | ALIM-1300010T03 | NODOFUENTE-3880 |
| | ALIM-1300010T04 | NODOFUENTE-3878 |
| Cayambe | ALIM-1300020T01 | NODOFUENTE-3875 |
| | ALIM-1300020T02 | NODOFUENTE-3874 |
| | ALIM-1300020T03 | NODOFUENTE-3873 |
| Otavalo | ALIM-1300030T01 | NODOFUENTE-3206 |
| | ALIM-1300030T02 | NODOFUENTE-3205 |
| | ALIM-1300030T03 | NODOFUENTE-3207 |
| | ALIM-1300030T04 | NODOFUENTE-3208 |
| | ALIM-1300030T05 | NODOFUENTE-3209 |
| San Vicente | ALIM-1300040T01 | NODOFUENTE-3201 |
| | ALIM-1300040T02 | NODOFUENTE-3202 |
| | ALIM-1300040T03 | NODOFUENTE-3203 |
| | ALIM-1300040T04 | NODOFUENTE-3204 |
| Cotacachi | ALIM-1300050T01 | NODOFUENTE-3543 |
| | ALIM-1300050T02 | NODOFUENTE-3546 |
| | ALIM-1300050T03 | NODOFUENTE-3544 |
| | ALIM-1300050T04 | NODOFUENTE-3545 |
| Atuntaqui | ALIM-1300060T01 | NODOFUENTE-2884 |
| | ALIM-1300060T02 | NODOFUENTE-2882 |
| | ALIM-1300060T03 | NODOFUENTE-2881 |
| | ALIM-1300060T04 | NODOFUENTE-7377 |
| | ALIM-1300060T05 | NODOFUENTE-7378 |
| San Agustín | ALIM-1300070T01 | NODOFUENTE-3534 |
| | ALIM-1300070T02 | NODOFUENTE-3535 |
| | ALIM-1300070T03 | NODOFUENTE-3536 |
| | ALIM-1300070T04 | NODOFUENTE-3537 |
| | ALIM-1300070T05 | NODOFUENTE-3538 |
| El Retorno | ALIM-1300080T01 | NODOFUENTE-3539 |
| | ALIM-1300080T02 | NODOFUENTE-3541 |
| | ALIM-1300080T04 | NODOFUENTE-3542 |
| | ALIM-1300080T05 | NODOFUENTE-3540 |

| Subestación | Alimentador | Nombre de la fuente |
|-------------|-----------------|---------------------|
| Alpachaca | ALIM-1300090T01 | NODOFUENTE-3857 |
| | ALIM-1300090T02 | NODOFUENTE-3858 |
| | ALIM-1300090T03 | NODOFUENTE-5442 |
| | ALIM-1300090T04 | NODOFUENTE-6082 |
| | ALIM-1300090T05 | NODOFUENTE-3859 |
| | ALIM-1300090T06 | NODOFUENTE-3860 |
| | ALIM-1300090T08 | NODOFUENTE-8641 |
| Ajaví | ALIM-1300100T01 | NODOFUENTE-5124 |
| | ALIM-1300100T02 | NODOFUENTE-4803 |
| | ALIM-1300100T03 | NODOFUENTE-5125 |
| | ALIM-1300100T04 | NODOFUENTE-3861 |
| | ALIM-1300100T05 | NODOFUENTE-4481 |
| Chota | ALIM-1300110T01 | NODOFUENTE-3522 |
| | ALIM-1300110T21 | NODOFUENTE-2562 |
| | ALIM-1300110T03 | NODOFUENTE-7683 |
| | ALIM-1300110T04 | NODOFUENTE-3521 |
| La Carolina | ALIM-1300120T03 | NODOFUENTE-3524 |
| | ALIM-1300120T04 | NODOFUENTE-3525 |
| El Ángel | ALIM-1300130T01 | NODOFUENTE-3864 |
| | ALIM-1300130T02 | NODOFUENTE-3862 |
| | ALIM-1300130T03 | NODOFUENTE-3863 |
| San Gabriel | ALIM-1300140T01 | NODOFUENTE-3865 |
| | ALIM-1300140T02 | NODOFUENTE-3866 |
| | ALIM-1300140T03 | NODOFUENTE-3867 |
| | ALIM-1300140T05 | NODOFUENTE-3868 |
| Tulcán | ALIM-1300150T01 | NODOFUENTE-3872 |
| | ALIM-1300150T02 | NODOFUENTE-3871 |
| | ALIM-1300150T03 | NODOFUENTE-3870 |
| | ALIM-1300150T04 | NODOFUENTE-3869 |
| El Rosal | ALIM-1300160T04 | NODOFUENTE-8961 |

Fuente: Departamento de Planificación Emelnorte

3.3.2 Centrales de generación

Para conectar las centrales se cargó cada centro de generación junto con su alimentador en medio voltaje y se arrastró la red hacia la vista imbricada de la central.

La tabla 39 indica el alimentador y número al que se encuentra conectado cada generador.

Tabla 39: Numero de alimentador de los centros de generación

| CENTRO DE GENERACION | Alimentador | Nro |
|---------------------------------|--------------------|------------|
| SEERMA I – Atuntaqui | Atuntaqui | 04 |
| SEERMA II- Industria Algodonera | Atuntaqui | 04 |
| Cotacachi | Cotacachi | 04 |
| Hidromira | La Carolina | 03 |
| San Gerónimo | La Carolina | 02 |
| Electrocordova | San Gabriel | 01 |
| GAD Espejo | El Ángel | 02 |
| Otavaló I | Otavaló | 03 |
| Otavaló II | Otavaló | 03 |

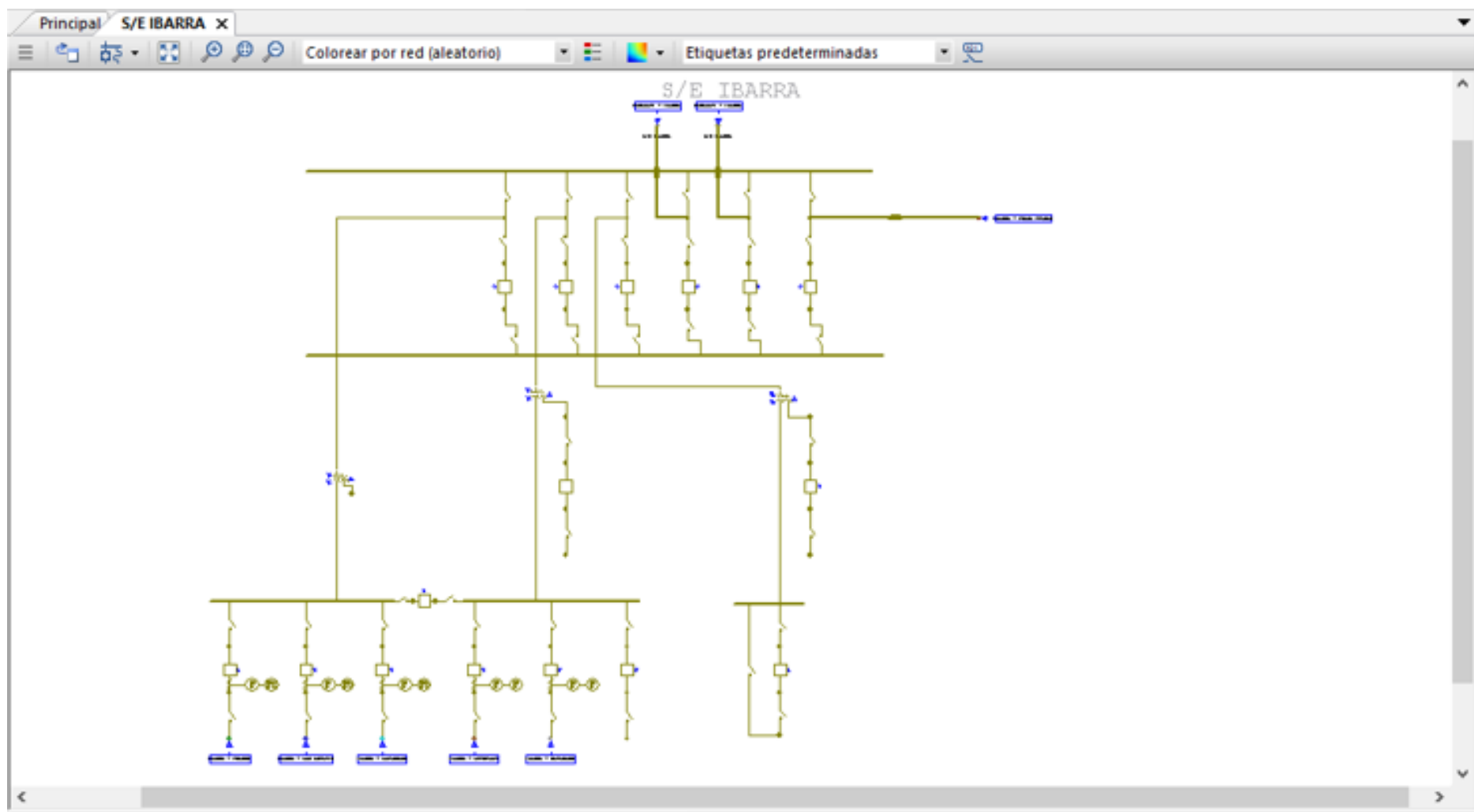
Fuente: Departamento de Estudios Eléctricos Emelnorte

3.4 Modelo del sistema de subtransmisión integrado con el sistema de distribución en media tensión.

Una vez realizada la importación de datos y conexión de alimentadores con subestaciones-centrales se tiene el modelo de la figura 48 donde se muestra, el diagrama unifilar final de la subestación Ibarra.

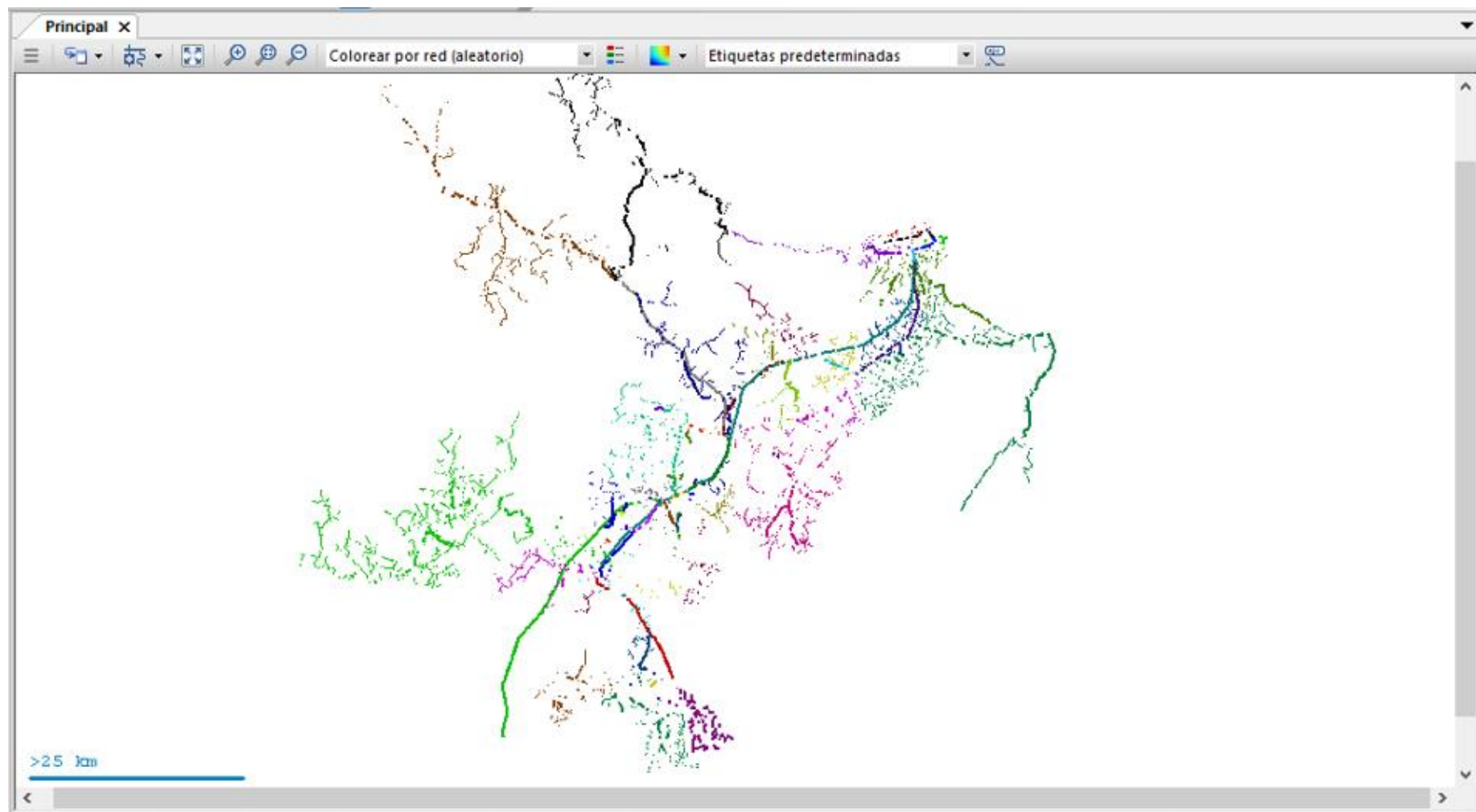
Las centrales de generación tienen la misma configuración que las subestaciones. El modelo final del sistema de subtransmisión integrado al sistema de distribución después de cargar todas las vistas imbricadas y la redes en medio voltaje se presenta en la figura 49.

Figura 48: Diagrama unifilar modelado de la subestación Ibarra.



Fuente: Autor

Figura 49: Sistema de subtransmisión integrado con el sistema de distribución de Emelnorte

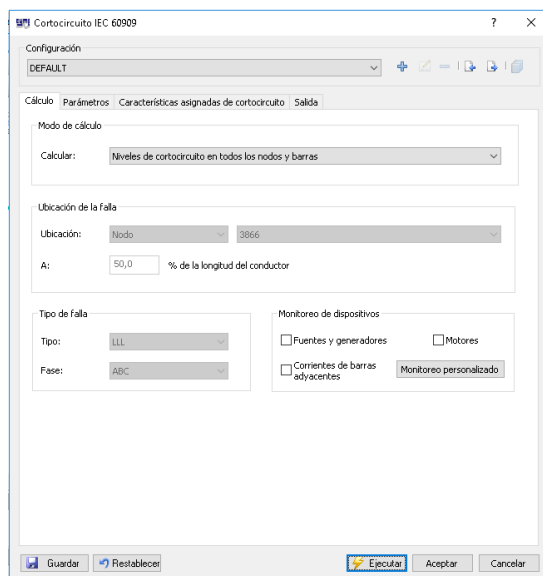


Fuente: Autor

3.5 Pruebas de cortocircuito

Se realizó la prueba de cortocircuito con la norma IEC 906069 en cada barra a 69/13,8kV de todas las subestaciones de distribución y para ejecutarlo dirigirse a la >Barra de herramientas en la pestaña >Tipos de análisis elegir el tipo de prueba a realizarse (Cortocircuito IEC 60909) Aparece la ventana de la figura 50.

Figura 50: Ventana Cortocircuito IEC 60909



Fuente: Autor

En el ítem >Calculo, en el menú desplegable >Calcular se eligió la opción >Niveles de cortocircuito en todos los nodos y barras. Esa opción brinda el valor de cortocircuito en todos los nodos y barras de las subestaciones de las redes. Se ejecutó la prueba en la opción ⚡, el proceso tarda de 5 a 15 minutos según los equipos y redes que se encuentren cargados y al finalizar aparece la ventana de la figura 51.

Figura 51: Cuadro de cortocircuito para la barra 1 de la subestación La Esperanza.

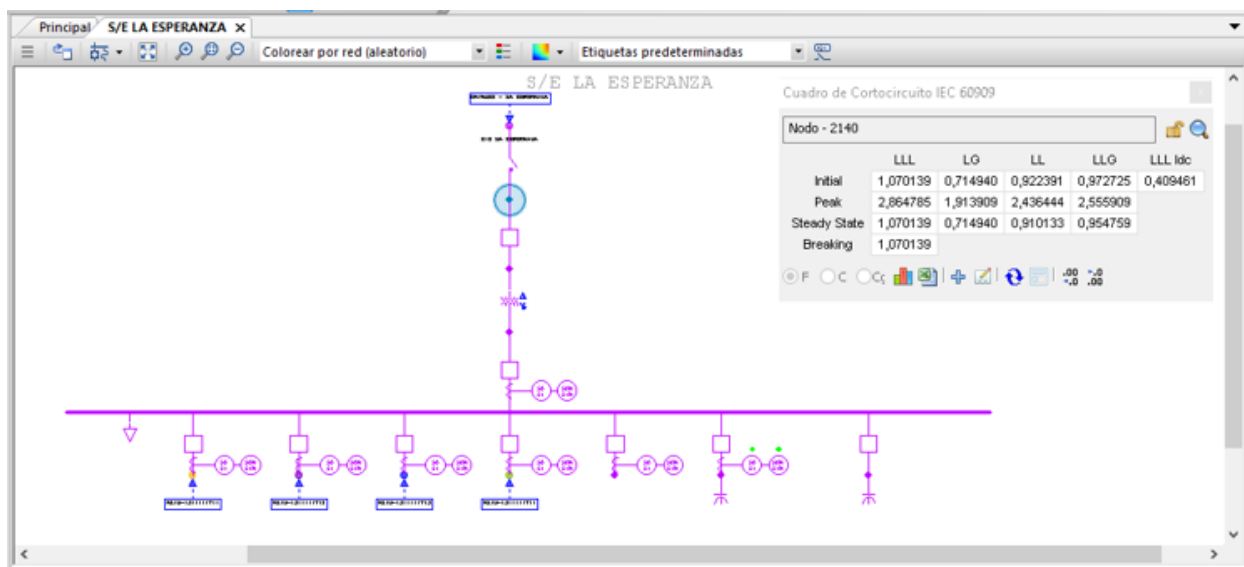
| | LLL | LG | LL | LLG | LLL Idc |
|--------------|-----|----|----|-----|---------|
| Initial | | | | | |
| Peak | | | | | |
| Steady State | | | | | |
| Breaking | | | | | |

Fuente: Autor

Se puede ajustar los resultados en la pestaña de >Personalizar el cuadro de resultados, así como también exportar los valores a excel y obtener un diagrama de barras.

Para conocer los resultados en cada subestación se debe dar clic en cada barra, simultáneamente aparecen los valores en el cuadro de cortocircuito. En la ventana de la figura 52 se presentan los resultados de las pruebas de cortocircuito realizada en el nodo 2140 a 69kV de la subestación La Esperanza.

Figura 52: Resultados de prueba de cortocircuito realizada a la subestación La Esperanza



Fuente: Autor

3.5.1 Resultados en pruebas de cortocircuito.

El departamento de estudios eléctricos de Emelnorte cuenta con las respectivas simulaciones realizadas en DigSILENT, donde se asigna un valor equivalente para conocer el valor de falla en las barras de las subestaciones de distribución.

Los valores obtenidos durante la prueba de cortocircuito en las barras 69/13,8kV del sistema integrado modelado en el trabajo de grado se compararon con los valores facilitados por el departamento de estudios eléctrico. La tabla 40 indica estos valores y el índice de error para fallas trifásicas.

Tabla 40: Resultados de cortocircuito para fallas trifásicas.

| BARRA | | FALLA TRIFÁSICA | | ERROR |
|--------------|--------------|-----------------|-----------|---------|
| | Voltaje | CYMDIST | DigSILENT | |
| | kV | Ik''[kA] | Ik''[kA] | % |
| La Esperanza | 13,8 | 2,895753 | 2,69 | 7,11% |
| | 69 | 1,070139 | 1,05 | 1,88% |
| Cayambe | 13,8 T1 | 3,096908 | 3,32 | -7,20% |
| | 13,8 T2 | 3,180122 | 3 | 5,66% |
| | 69 | 1,247382 | 1,24 | 0,59% |
| Otavalo | 13,8 | 3,822652 | 3,6 | 5,82% |
| | 69 | 2,059936 | 1,88 | 8,74% |
| San Vicente | 13,8 | 3,83301 | 3,55 | 7,38% |
| | 69 | 2,221551 | 1,99 | 10,42% |
| Atuntaqui | 13,8 | 5,816761 | 4,72 | 18,86% |
| | 69 | 3,664904 | 3,12 | 14,87% |
| Cotacachi | 13,8 | 2,777187 | 2,48 | 10,70% |
| | 69 | 3,157508 | 2,85 | 9,74% |
| El Retorno | 13,8 | 4,399747 | 4,07 | 7,49% |
| | 69 | 3,260769 | 2,97 | 8,92% |
| San Agustín | 13,8 | 4,668363 | 4,44 | 4,89% |
| | 69 | 3,953889 | 3,54 | 10,47% |
| La Carolina | 13,8 | 2,071414 | 2,19 | -5,72% |
| | 69 | 1,11904 | 1,08 | 3,49% |
| El Chota | 13,8 (Jap) | 2,612991 | 2,42 | 7,39% |
| | 13,8 (Chino) | 2,286766 | 2,11 | 7,73% |
| | 69 | 2,436105 | 2,23 | 8,46% |
| Ajaví | 13,8 | 4,09874 | 3,75 | 8,51% |
| | 69 | 4,103087 | 3,58 | 12,75% |
| Alpachaca | 13,8 | 5,460113 | 4,89 | 10,44% |
| | 69 | 4,486231 | 3,88 | 13,51% |
| El Ángel | 13,8 | 1,28495 | 1,31 | -1,95% |
| | 69 | 1,013448 | 0,94 | 7,25% |
| San Gabriel | 13,8 | 3,180591 | 2,84 | 10,71% |
| | 69 | 1,201104 | 1,11 | 7,59% |
| Tulcán | 13,8 | 3,60031 | 3,52 | 2,23% |
| | 69 | 1,792883 | 1,61 | 10,20% |
| El Rosal | 34,5 | 1,18472 | 1,39 | -17,33% |

Fuente: Autor

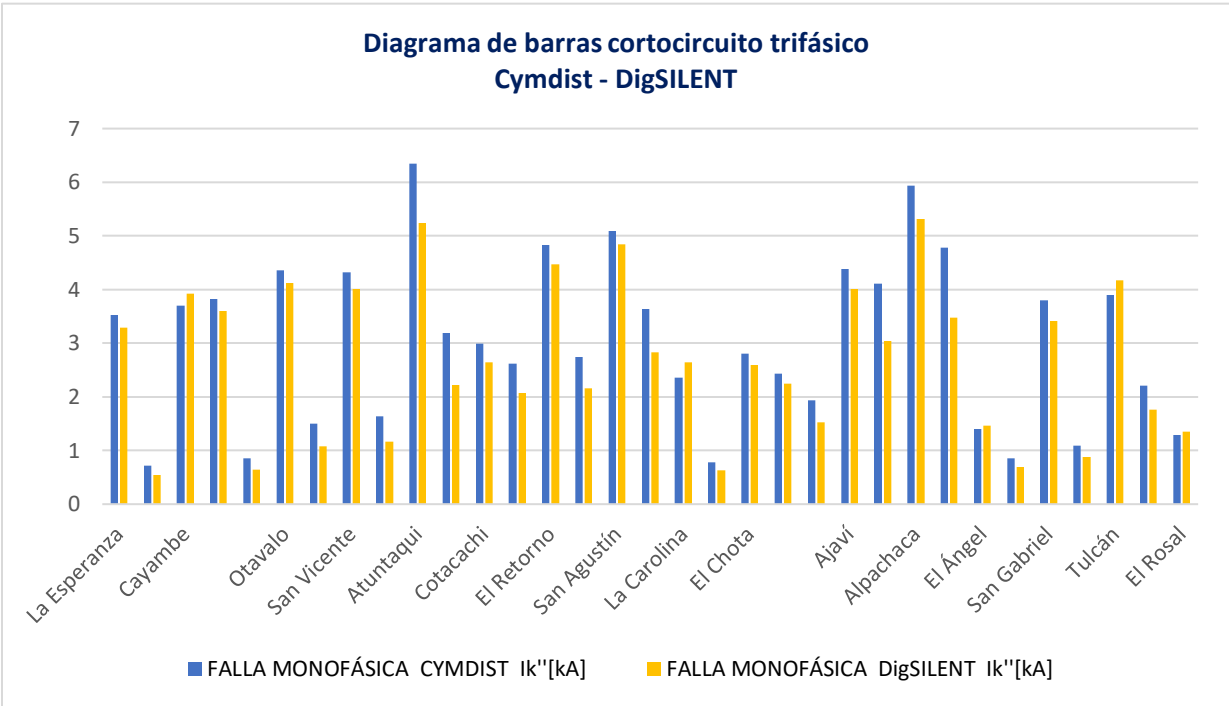
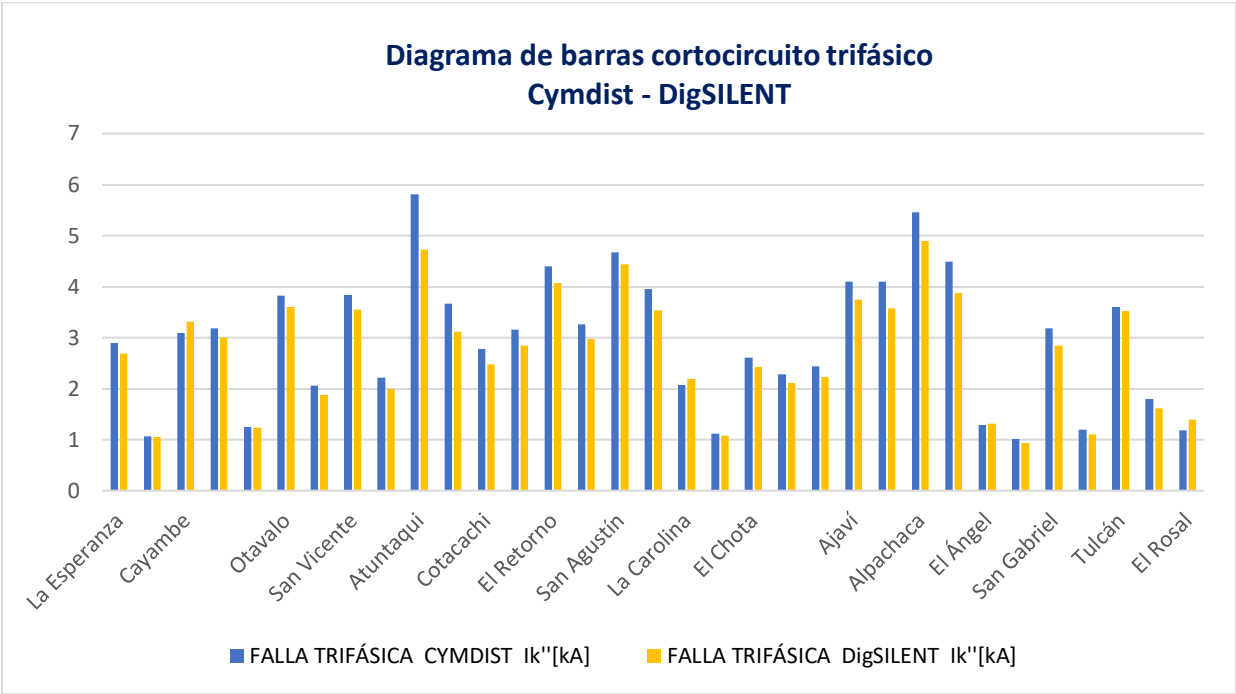
Mientras que los valores obtenidos y el índice de error para fallas monofásicas se presentan en la tabla 41.

Tabla 41: Resultado de cortocircuito para fallas monofásicas

| BARRA | FALLA MONOFÁSICA | | | |
|--------------|------------------|----------|-----------|---------|
| | Voltaje | CYMDIST | DigSILENT | ERROR |
| | kV | Ik''[kA] | Ik''[kA] | % |
| La Esperanza | 13,8 | 3,523297 | 3,293 | 6,54% |
| | 69 | 0,71494 | 0,546 | 23,63% |
| Cayambe | 13,8 T1 | 3,700301 | 3,925 | -6,07% |
| | 13,8 T2 | 3,820406 | 3,603 | 5,69% |
| | 69 | 0,849 | 0,648 | 23,67% |
| Otavalo | 13,8 | 4,35467 | 4,122 | 5,34% |
| | 69 | 1,497403 | 1,075 | 28,21% |
| San Vicente | 13,8 | 4,323876 | 4,015 | 7,14% |
| | 69 | 1,642185 | 1,167 | 28,94% |
| Atuntaqui | 13,8 | 6,348868 | 5,239 | 17,48% |
| | 69 | 3,188775 | 2,219 | 30,41% |
| Cotacachi | 13,8 | 2,990402 | 2,638 | 11,78% |
| | 69 | 2,621256 | 2,072 | 20,95% |
| El Retorno | 13,8 | 4,827685 | 4,468 | 7,45% |
| | 69 | 2,745691 | 2,155 | 21,51% |
| San Agustín | 13,8 | 5,085771 | 4,846 | 4,71% |
| | 69 | 3,643309 | 2,828 | 22,38% |
| La Carolina | 13,8 | 2,355877 | 2,638 | -11,98% |
| | 69 | 0,774582 | 0,637 | 17,76% |
| El Chota | 13,8 (Jap) | 2,809887 | 2,6 | 7,47% |
| | 13,8 (Chino) | 2,436138 | 2,251 | 7,60% |
| | 69 | 1,939434 | 1,521 | 21,58% |
| Ajaví | 13,8 | 4,384666 | 4,012 | 8,50% |
| | 69 | 4,105461 | 3,037 | 26,03% |
| Alpachaca | 13,8 | 5,931893 | 5,313 | 10,43% |
| | 69 | 4,782873 | 3,481 | 27,22% |
| El Ángel | 13,8 | 1,400736 | 1,467 | -4,73% |
| | 69 | 0,859742 | 0,698 | 18,81% |
| San Gabriel | 13,8 | 3,794622 | 3,42 | 9,87% |
| | 69 | 1,096762 | 0,885 | 19,31% |
| Tulcán | 13,8 | 3,893989 | 4,169 | -7,06% |
| | 69 | 2,206816 | 1,757 | 20,38% |
| El Rosal | 34,5 | 1,291043 | 1,346 | -4,26% |

Fuente: Autor

A continuación, se presenta en diagrama de barra correspondiente a los resultados obtenidos tanto en fallas trifásicas y monofásicas.



3.5.2 Análisis de resultados

Se observa que existe un índice de error que va desde el 0.5 hasta el 30% como máximo en las pruebas de cortocircuito, esto se debe a que la red de distribución en media tensión tiene un error en los alimentadores de Cayambe por cambios en la configuración de la subestación, ya que se dividió en 2 partes la barra de 13,8kV ocasionando cambios de conexión en las celdas.

Por otra parte, el sistema NAS de Emelnorte no exportó el alimentador 02 de la subestación La Carolina para la base de datos de diciembre y no se pudo disponer de esta información, lo que hace que los generadores de las centrales Ecuajugos y Molinos la Unión no aporten a la falla.

Otro factor importante es que DigSILENT realiza la prueba de cortocircuito considerando el flujo de carga mientras que Cymdist opta por el cálculo directo sin analizar la carga de la red, únicamente toma valores de las centrales de generación

CONCLUSIONES

Se realizó la modelación del sistema de subtransmisión, con los datos del catálogo de equipos e información de las redes eléctricas que dispone el Departamento de Estudios Eléctricos de Emelnorte, parámetros y características eléctricas de cada equipo y componente que permitió que la modelación de este sistema cuente con resultados aceptables.

Cymdist ofrece una interfaz dinámica que permite modelar un sistema eléctrico con características singulares que pueden ser establecidas por el usuario de acuerdo a catálogos, se puede crear redes específicas y con diseños particulares en cuanto a sus estructuras de soporte.

La ventana de mensajes y reportes brinda la ubicación exacta de un error y permite dirigirse a esta de forma directa. También da una breve descripción de las acciones a realizarse para corregirla.

Para asegurar que la modelación sea aceptable se compara con las corrientes de cortocircuito calculadas en el sistema de subtransmisión modelado con el software DigSilent y las obtenidas en la modelación del sistema de subtransmisión en el programa Cymdist obteniendo porcentajes de error aceptables.

Los porcentajes de error se deben a que la modelación de subtransmisión en DigSilent incluye el sistema de generación reflejado en las barras de 13,8 kV, por lo que no considera las impedancias adicionales del sistema de distribución en media tensión que se integra en la modelación de Cymdist.

El manual de procedimientos elaborado en este trabajo de grado es una guía para los funcionarios de Emelnorte en el que se indica los pasos a seguir para crear un sistema eléctrico, lo que les permitirá conocer de forma más ágil y rápida el manejo del programa Cymdist.

.

RECOMENDACIONES

Actualizar el catálogo de equipos e información de sus redes eléctricas en base a implementación de proyectos eléctricos, readecuación de redes en media tensión, y generación distribuida, así como también cambios que se realicen en el sistema de subtransmisión, cada vez que ingresen nuevas redes eléctricas de subtransmisión, subestaciones, esto permitirá realizar estudios eléctricos integrales, y la creación de nuevos equipos de una manera eficiente.

Tomar en cuenta todas las sugerencias que se encuentran en el manual de usuario, para evitar dificultades al momento de crear equipos, modelar redes eléctricas y realizar procedimientos adecuados momento de conectar equipos.

Antes de integrar un sistema de subtransmisión actualizado, se debe realizar pruebas de cortocircuito, esto debido a que, si hay un error en la modelación del sistema y un equipo o una red está conectado de forma incorrecta, será más fácil ubicar el error y corregirlo, lo que no ocurre estar integradas las dos bases de datos debido al gran tamaño de la base de datos del sistema de distribución.

Al momento de que se realicen cambios en la modelación del sistema de subtransmisión, se debe guardar la red en la base de datos, esto se logra con el ícono *“Actualizar red”* que se encuentra en la barra de herramientas de acceso rápido, cuando se activa la cinta de opciones *“Base de Datos”*, puesto que, si se cierra de forma directa el programa, Cymdist no guarda dichos cambios.

En caso de presentarse un error de interconexión al momento de realizar la integración, se recomienda buscarlo en la barra de exploración situada en la parte izquierda de la ventana principal, en este lugar, Cymdist permite eliminar de forma directa el nodo de interconexión, acción que se dificulta si se intenta eliminar desde la pantalla principal.

Cuando se encuentra un error, Cymdist no permite continuar con la modelación hasta que este sea corregido, ante ello se debe tener en cuenta la ubicación y cerrar el programa de forma directa. Después se debe abrir nuevamente el programa y buscar el nodo en la barra de exploración para eliminarlo. Esto se realiza ya que una vez detectado el error no se puede realizar cambios ni actualizar la red.

REFERENCIAS

- Alcantar, L. (2014). *Apuntes de Sistemas Electricos de Potencia* . Mexico.
- Ald, M. (16 de Mayo de 2017). *Niveles de voltaje en el Ecuador*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/348506679/Niveles-de-Voltaje-en-El-Ecuador>
- Alfredo Dammert, F. M. (21 de Mayo de 2011). *Fundamentos Tecnicos y Economicos del Sector Electrico Peruano*. Obtenido de http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro_Fundamentos_Tecnicos_Economicos_Sector_Electrico_Peruano.pdf
- ARCONEL. (2008). *Regulacion Electrica*. Obtenido de http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/11/2017_10_30_reg.franjasservidumbre_distanciasseguridad.pdf
- Arguello, G. (2012). *Analisis y Control de Sistemas Electricos de Potencia*. Quito.
- Bergen, A. (2000). *Power System Analysis* . New Jersey : Prentice Hall.
- Brokering, W. (1992). *Sistemas Electricos de Potencia*. Santiago.
- Calidad de la energia en los Sistemas de Potencia. (s.f.).
- Calvache, E. I. (2015). *Control del perfil de voltaje a traves de la determinacion optima de taps aplicada en matlab*. Quito.
- Carrillo, J. (2009). *Modelacion de la red electrica con el software de libre acceso* . Guatemala.
- Carvajal, F. (2008). *Diseño de base de datos para creacion y manejo de archivos estandar de sistemas electricos. Desarrollo de casos practicos*. Obtenido de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/carvajal_fz/sources/carvajal_fz.pdf
- Chapman, S. (2012). *Maquinas Electricas*. Mexico: McGraw-Hill.
- CYME INTERNATIONAL. (Enero de 2015). *Programa de Analisis de Redes Electricas*. Obtenido de <http://www.cyme.com/es/software/BR917001ES-CYME-Software.pdf>
- Ducan J, O. T. (2012). *Power System Analysis and Design*.
- El Hawary, M. E. (2008). *Introduction to Electrical Power System*. Canada: IEEE Press.
- EMELNORTE. (2018). Expansión del Sistema de Distribucion. 20. Ibarra.

- Escobar, R. (2004). *Metodología para la solución del problema de potencia convencional mediante el método desacoplado rápido incluyendo el compensador avanzado serie para el flujo de potencia*. Morelia.
- Ferro, G. (2015). Obtenido de http://www3.fi.mdp.edu.ar/dtoelectrica/files/electrotecnia3/cs_1.pdf
- Gallardo, C. (2014). *LÍNEAS ELÉCTRICAS*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- García, S. (2014). *renovetec*. Obtenido de <http://energia.renovetec.com/161-generadores-sincronos>
- Giraldo, O. D. (Febrero de 2015). *Universidad Tecnológica de Pereira*. Obtenido de <http://blog.utp.edu.co/odmgiraldo/files/2015/01/1-Generalidades-de-los-Sistemas-de-Potencia.pptx>
- Gonzales, F. (Enero de 2004). *Manual de usuario de DigSILENT Power Factory 12.0 en español*. Obtenido de file:///C:/Users/hp/Downloads/Manual_de_Usuario_DlgSILENT_Parte_I.pdf
- Gonzales, F. (Febrero de 2016). *ResearchGate*.
- Gonzalez, F. M. (2008). *Guía Elec Fglongatt*. Obtenido de Introducción a los Sistemas de Potencia: http://fglongatt.org/OLD/Archivos/Archivos/SP_I/PPT-IntroSP.pdf
- Gutiérrez, D. (Quito de 2016). *Diseño e Implementación de una herramienta de software para el análisis de confiabilidad de Sistemas Eléctricos de Potencia basado en el método de simulación de Montecarlo*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/704/1/CD-1650%282008-08-05-09-53-10%29.pdf>
- Herrador, C. (2016). *Modelado en Matlab-Simulink de generadores*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90790/fichero/TFG.pdf>
- Martínez, M. (2003). *Guía para la determinación de límites de operación, curva de capacidad, pruebas y mantenimiento predictivo de generadores sincrónicos*. Guatemala.
- Mc Graw Hill. (15 de Junio de 2006). *mhEducation*. Obtenido de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/844814807X.pdf>
- MEER. (2010). Obtenido de <http://www.energia.gob.ec/sistema-integrado-para-la-gestion-de-la-distribucion-electrica-sigde/>

Metas y Metrologos Asociados. (Febrero de 2010). *Metas*. Obtenido de http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-10-02-factor_de_potencia.pdf

Mujal, R. (2002). *Calculo de Lineas y Redes Electricas*. Barcelona: Edicions UPC.

Núñez, F. (2015). *Centrales de Generacion y Subestaciones Electricas*. Santo Domingo: ISBN.

Obed Jimenez, V. C. (2006). *Lineas de Transmición y Distribucion de Energia Electrica*. San Nicolas.

Ramirez, S. (2003). *Redes de Subtransmicion y Distribucion de Energia*. Colombia.

Rodriguez, A. (10 de Marzo de 2010). *EA1URO*. Obtenido de <http://www.ea1uro.com/ea1gx/CABLES-DE-GUARDA-EN-TORRES-DE-ALTA-TENSION-Y-RAYOS.pdf>

Semblantes, M. (2010). *Diseño de una torre de transmision electrica autosoportada para una linea de 69kV*. Quito.

Sherwin H, W. &. (1996). *Characteristics of Aerial Lines* .

SILVATECH S.A. (2008). *Software de Ingenieria Electrica para Sistemas de Potencia* . Obtenido de <http://www.silvatech.com.ec/software-etap.html>

Stevenson, J. G. (1996). *Analisis de Sistemas Electricos de Potencia*. Mexico: McGRAW-HILL.

Torres, J. (2013). Estrategias efectivas para mejorar la calidad del servicio de energia electrica de un sistema de distribucion electrico. *YACHANA*, 89-93.

uOttawa. (2006). *Hydro Quebec Website*. Obtenido de Distribution and Utilization Power System: <http://www.site.uottawa.ca/~rhabash/ELG4125Distribution2012.pdf>

Vanfretti, L. (2005). *Modelacion y simulacion de la maquina sincrona* .

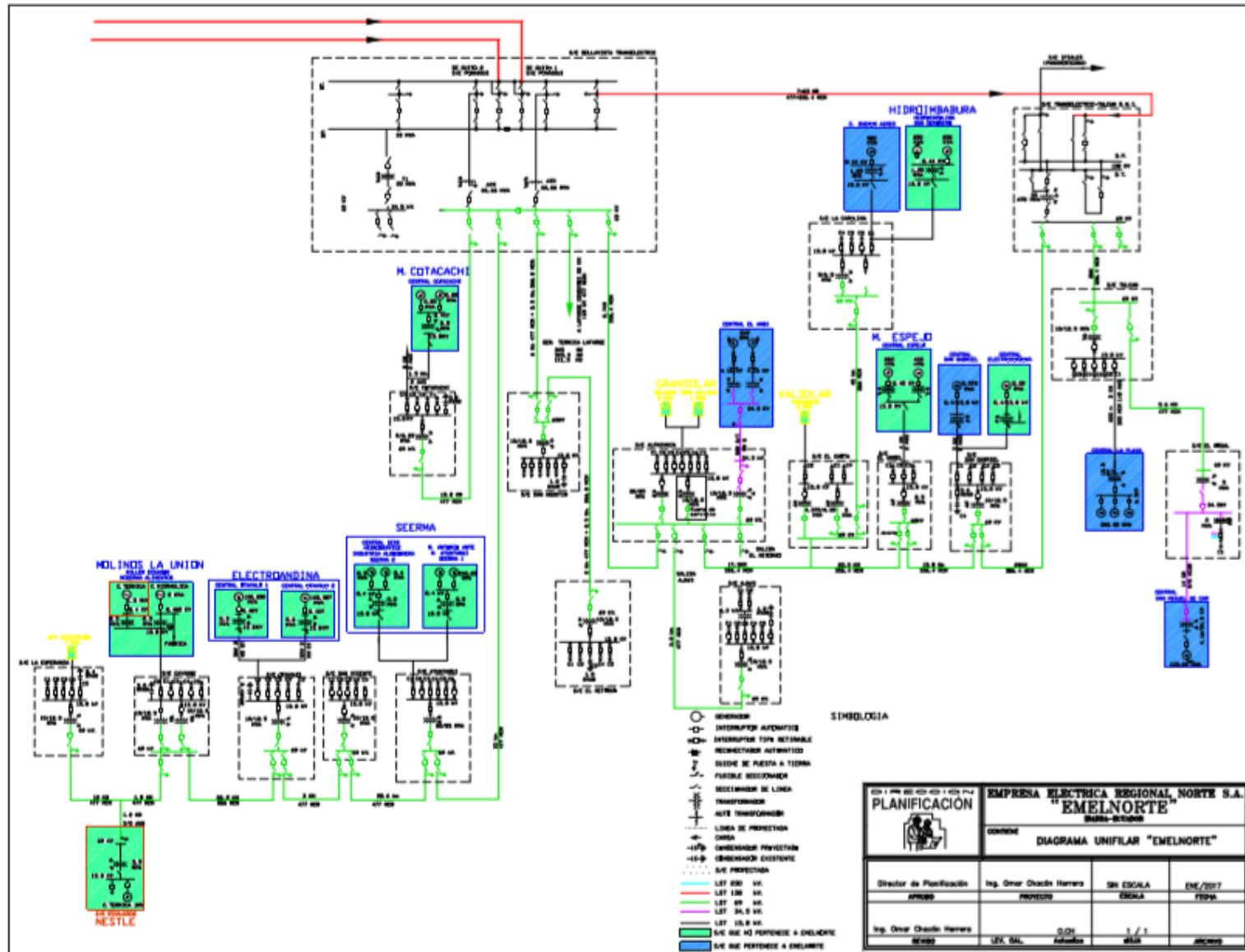
VIAKON. (2012). Obtenido de Conductores Monterrey: <http://www.viakon.com/manuales/Manual%20Electrico%20Viakon%20-%20Capitulo%204.pdf>

Walter Brokering, R. P. (2008). *Los Sistemas Electricos de Potencia*. Mexico: Prentice Hall.

Zapata, C. (2011). *Confiabilidad de Sistemas Electricos de Potencia*. Colombia .

Anexo A

Diagrama unifilar de la empresa eléctrica EMELNORTE



Anexo B

Tabla de características eléctricas de las centrales de generación que operan en el área de concesión en Emelnorte

| # | Nombre Central | Nombre Unidad | Pertenece a: | Marca | Sn (MVA) | fp | Estator | | N° fases | f (Hz) | Tipo | Pmin (MW) | Pmax (MW) | Qmin (Mvar) | Qmax (Mvar) |
|----|------------------------------------|---------------|--------------|------------------------|----------|------|---------|----------|----------|--------|------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| | | | | | | | Vn (kV) | rpm | | | | | | | |
| 1 | El Ambi | 1 | Emelnorte | Mather & Platt Ltd | 5 | 0,8 | 4,16 | 600 | 3 | 60 | H | 3,4 | 4,6 | 0,0425 | 0,0575 |
| 2 | El Ambi | 2 | Emelnorte | Mather & Platt Ltd | 5 | 0,8 | 4,16 | 600 | 3 | 60 | H | 3,4 | 4,6 | 0,0425 | 0,0575 |
| 3 | San Miguel de Car | 1 | Emelnorte | Brown Boveri (BBC) | 3,69 | 0,8 | 4,16 | 720/1200 | 3 | 60 | H | 2,509 | 2,952 | 1,881 | 2,214 |
| 4 | Lafarge (parque generador antiguo) | 1 | | Fuji Electric | 5,2125 | 0,8 | 4,16 | 1200 | | | T | 3,544 | 4,29 | 0,0425 | 0,0575 |
| 5 | Lafarge (parque generador antiguo) | 2 | | Fuji Electric | 5,2125 | 0,8 | 4,16 | 1200 | | | T | 3,544 | 4,29 | 0,0425 | 0,0575 |
| 6 | Lafarge (parque generador antiguo) | 3 | | Fuji Electric | 5,2125 | 0,8 | 4,16 | 1200 | | | T | 3,544 | 4,29 | 0,0425 | 0,0575 |
| 7 | Lafarge (parque generador antiguo) | 4 | | ABB | 4,81 | 0,8 | 4,16 | 1200 | | | T | 3,27 | 4,425 | 0,0425 | 0,0575 |
| 8 | Lafarge (parque generador nuevo) | 1 | | Leroy Somer | 6,953 | 0,8 | 4,16 | 1200 | | | T | 4,727 | 6,396 | 0,0425 | 0,0575 |
| 9 | Lafarge (parque generador nuevo) | 2 | | Leroy Somer | 6,953 | 0,8 | 4,16 | 1200 | | | T | 4,727 | 6,396 | 0,0425 | 0,0575 |
| 10 | Lafarge (parque generador nuevo) | 3 | | Leroy Somer | 6,953 | 0,8 | 4,16 | 1200 | | | T | 4,727 | 6,396 | 0,0425 | 0,0575 |
| 11 | Buenos Aires | 1 | | | 1,153 | 0,85 | 0,48 | | | | H | 0,833 | 1,127 | 0,51595 | 0,69805 |
| 12 | Hidrocarolina | 1 | | | 0,25 | 0,8 | 0,4 | | | | H | 0,213 | 0,2875 | 0,0425 | 0,0575 |
| 13 | La Playa | 1 | Emelnorte | S.A Brown Boveri & Cia | 0,55 | 0,8 | 6,3 | 900/1620 | 3 | 60 | H | 0,374 | 0,506 | 0,0425 | 0,0575 |
| 14 | La Playa | 2 | Emelnorte | Marelli Generators | 0,55 | 0,9 | 6,3 | 900/1620 | 3 | 60 | H | 0,374 | 0,506 | 0,0425 | 0,0575 |
| 15 | La Playa | 3 | Emelnorte | S.A Brown Boveri & Cia | 0,55 | 0,8 | 6,3 | 900/1620 | 3 | 60 | H | 0,374 | 0,506 | 0,0425 | 0,0575 |
| 16 | Electrocordoba | 1 | | | 0,25 | 0,8 | 0,4 | | | | H | 0,213 | 0,2875 | 0,0425 | 0,0575 |
| 17 | Cotacachi | 1 | | NO existe | 0,25 | 0,8 | 0,4 | | | | H | 0,213 | 0,2875 | 0,0425 | 0,0575 |
| 18 | Cotacachi | 2 | | NO existe | 0,2 | 0,8 | 0,4 | | | | H | 0,17 | 0,23 | 0,0425 | 0,0575 |
| 19 | San Gabriel | 1 | | NO existe | 0,375 | 0,8 | 0,4 | | | | H | 0,255 | 0,345 | 0,0425 | 0,0575 |
| 20 | Espejo | 1 | | | 0,5 | 0,8 | 0,4 | | | | H | 0,34 | 0,46 | 0,0425 | 0,0572 |
| 21 | Espejo | 2 | | | 0,325 | 0,8 | 0,4 | | | | H | 0,221 | 0,299 | 0,0425 | 0,0572 |
| 22 | Otavalo | 1 | | AEG | 0,25 | 0,8 | 0,4 | | | | H | 0,213 | 0,2875 | 0,0425 | 0,0575 |
| 23 | Otavalo | 2 | | AEG | 0,527 | 0,8 | 0,4 | 720 | 3 | 60 | H | 0,447 | 0,60605 | 0,0425 | 0,0575 |
| 24 | IESS | 1 | | | 0,3 | 0,8 | 5 | | | | H | 0,204 | 0,276 | 0,0425 | 0,0575 |
| 25 | IESS | 2 | | | 0,4 | 0,8 | 0,4 | | | | H | 0,272 | 0,368 | 0,0425 | 0,0575 |
| 26 | Atuntaqui | 1 | | | 0,25 | 0,8 | 0,4 | | | | H | 0,213 | 0,2875 | 0,0425 | 0,0575 |
| 27 | Atuntaqui | 2 | | | 0,25 | 0,8 | 0,4 | | | | H | 0,213 | 0,2875 | 0,0425 | 0,0575 |
| 28 | Miller Ecuador | 1 | | | 1,5 | 0,8 | 0,4 | | | | H | 1,275 | 1,725 | 0,0425 | 0,0575 |
| 29 | Miller Ecuador | 2 | | | 2 | 0,8 | 0,4 | | | | H | 1,36 | 1,84 | 0,0425 | 0,0575 |
| 30 | Ecuajugos | 1 | | | 1 | 0,8 | 0,4 | | | | H | 0,68 | 0,92 | 0,0425 | 0,575 |

Nota: H=Hidráulico; T=Turbogas

Anexo C

Tabla de características eléctricas de los transformadores con dos devanados que operan en el área de concesión en Emelnorte

| # | Subestación | Fases | Tipo | Sn,CAP. OA (MVA) | CAP. FA (MVA) | Vp (kV) | Vs (kV) | Pfe (kW) | Grupo conexión | f (Hz) | N/A BIL p (kV) |
|------|----------------------|-------|------|---------------------|------------------|---------|---------|----------|-------------------|--------|-------------------|
| 1.1 | Ajaví | 3 | I/A | 10 | 12,5 | 69 | 13,8 | 8,98 | DYn1 | 60 | 350 |
| 1.2 | Ajaví | 3 | I/A | 3 | - | 13,2 | 6,3 | 6,8 | DYn5 | 60 | 125 |
| 2.1 | Alpachaca T1 | 3 | I/A | 10 | 12,5 | 69 | 13,8 | 5,545 | DYn1 | 60 | 350 |
| 2.2 | Alpachaca T2 | 3 | I/A | 20 | 25 | 69 | 13,8 | 11,09 | DYn1 | 60 | 350 |
| 2.3 | Alpachaca (El Ambi) | 3 | I/A | 10 | 12,5 | 69 | 34,5 | 18,43 | YnYn0d11 | 60 | 325 |
| 3 | Atuntaqui | 3 | I/A | 20 | 25 | 69 | 13,8 | 11,4 | DYn1 | 60 | 350 |
| 4.1 | Cayambe | 3 | I/A | 10 | 12,5 | 69 | 13,8 | 12,92 | DYn1 | 60 | 350 |
| 4.2 | Cayambe | 3 | I/A | 10 | 12,5 | 69 | 13,8 | 10,53 | DYn1 | 60 | 350 |
| 5 | C. San Miguel de Car | 3 | I/A | 5,545 | - | 34,5 | 4,16 | 6,5 | Ynd11 | 60 | 200 |
| 6.1 | C. El Ambi_1 | 3 | I/A | 5 | 6,25 | 34,5 | 4,16 | 6,25 | Ynd1 | 60 | 200 |
| 6.2 | C. El Ambi_2 | 3 | I/A | 5 | 6,25 | 34,5 | 4,16 | 6,25 | Ynd1 | 60 | 200 |
| 7 | C. LA Playa | 3 | I/A | 1,5 | - | 13,8 | 6,3 | | Ynd5 | 60 | 125 |
| 8 | Cotacachi | 3 | I/A | 5 | 6,25 | 69 | 13,8 | 7,9 | DYn1 | 60 | 350 |
| 9 | Ecuajugos | 3 | I/A | 3,5 | - | 69 | 13,8 | 4,1 | Dyn1 | 60 | 350 |
| 10 | El Angel | 3 | I/A | 2,5 | - | 69 | 13,8 | 3,83 | DYn1 | 60 | 350 |
| 11.1 | El Chota | 3 | I/A | 5 | - | 69 | 13,8 | 6,54 | DYn1 | 60 | 350 |
| 11.2 | El Chota | 3 | I/A | 4,375 | 6,25 | 69 | 13,8 | 8,87 | DYn1 | 60 | 325 |
| 12 | El Retorno | 3 | I/A | 10 | 12,5 | 69 | 13,8 | 12,9 | DYn1 | 60 | 350 |
| 13.1 | El Rosal | 3 | I/A | 5 | - | 69 | 34,5 | 5,214 | YnYn0 | 60 | 350 |
| 13.2 | El Rosal | 3 | I/A | 2 | 2,5 | 34,5 | 13,8 | 5,1 | YnYn0 | 60 | 200 |
| 14 | La Carolina | 3 | I/A | 5 | 6,25 | 69 | 13,8 | 10,494 | DYn1 | 60 | 350 |
| 15 | La Esperanza | 3 | I/A | 10 | 12,5 | 69 | 13,8 | 11,46 | DYn1 | 60 | 350 |
| 16 | Otavalo | 3 | I/A | 10 | 12,5 | 69 | 13,8 | 12,43 | DYn1 | 60 | 350 |
| 17 | San Agustín | 3 | I/A | 10 | 12,5 | 67 | 13,8 | 17,57 | DYn1 | 60 | 350 |
| 18 | San Gabriel | 3 | I/A | 10 | 12,5 | 69 | 13,8 | 12,4 | DYn1 | 60 | 350 |
| 19 | San Vicente | 3 | I/A | 10 | 12,5 | 69 | 13,8 | 10,494 | DYn1 | 60 | 350 |
| 20 | Tulcán | 3 | I/A | 10 | 12,5 | 69 | 13,8 | 12,93 | DYn1 | 60 | 350 |
| 21 | UNACEM | 3 | I/A | 30 | 35 | 69 | 4,16 | 15,4 | Dyn11 | 60 | 350 |
| 22 | Yachay | 3 | I/A | 24 | 28 | 69 | 13,8 | 16 | DYn1 | 60 | 350 |

Nota: **I/A**= Inmerso en aceite

Anexo D.1

Tabla de características eléctricas de conductores de aluminio con alma de acero

| Palabra clave | Area de aluminio,cmil | Trenzado Al/St | Capas de aluminio | Diametro exterior, pulgadas | Resistencia | | | RMG Ds, pies | Reactancia por conductor a 1 pie de espaciamiento, 60 Hz | |
|---------------|-----------------------|----------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------|---------------|--------------|--|----------------------------|
| | | | | | Dc, 20°C, Ω/1000 pies | CA, 60 Hz | | | Xa inductiva, Ω/milla | X'd capacitiva, MΩ . Milla |
| | | | | | | 20°C, Ω/milla | 50°C, Ω/milla | | | |
| Hawk | 477,000 | 26/7 | 2 | 0.858 | 0.0357 | 0.1931 | 0.2120 | 0.0289 | 0.430 | 0.0988 |
| Hen | 477,000 | 30/7 | 2 | 0.883 | 0.0355 | 0.1919 | 0.2107 | 0.0304 | 0.424 | 0.0980 |
| Osprey | 556,500 | 18/1 | 2 | 0.879 | 0.0309 | 0.1679 | 0.1843 | 0.0284 | 0.432 | 0.0981 |
| Parakeet | 556,500 | 24/7 | 2 | 0.914 | 0.0308 | 0.1669 | 0.1832 | 0.0306 | 0.423 | 0.0969 |
| Dove | 556,500 | 36/7 | 2 | 0.927 | 0.0307 | 0.1663 | 0.1826 | 0.0314 | 0.420 | 0.0965 |
| Rook | 636,000 | 24/7 | 2 | 0.977 | 0.0269 | 0.1461 | 0.1603 | 0.0327 | 0.415 | 0.0950 |
| Grosbeak | 636,000 | 26/7 | 2 | 0.990 | 0.0268 | 0.1454 | 0.1596 | 0.0335 | 0.412 | 0.0946 |
| Drake | 795,000 | 26/7 | 2 | 1.108 | 0.0215 | 0.1172 | 0.1284 | 0.0373 | 0.399 | 0.0912 |
| Tern | 795,000 | 45/7 | 3 | 1.063 | 0.0217 | 0.1188 | 0.1302 | 0.0352 | 0.406 | 0.0925 |
| Rail | 954,000 | 45/7 | 3 | 1.165 | 0.0181 | 0.0997 | 0.1092 | 0.0386 | 0.395 | 0.0897 |
| Cardinal | 954,000 | 54/7 | 3 | 1.196 | 0.0180 | 0.0988 | 0.1082 | 0.0402 | 0.390 | 0.0890 |
| Ortolan | 1,033,500 | 45/7 | 3 | 1.213 | 0.0167 | 0.0924 | 0.1011 | 0.0402 | 0.390 | 0.0885 |
| Bluejay | 1,113,000 | 45/7 | 3 | 1.259 | 0.0155 | 0.0861 | 0.0941 | 0.0415 | 0.386 | 0.0874 |
| Finch | 1,113,000 | 54/19 | 3 | 1.293 | 0.0155 | 0.0856 | 0.0937 | 0.0436 | 0.380 | 0.0866 |
| Bittern | 1,272,000 | 45/7 | 3 | 1.345 | 0.0136 | 0.0762 | 0.0832 | 0.0444 | 0.378 | 0.0855 |
| Pheasant | 1,272,000 | 54/19 | 3 | 1.382 | 0.0135 | 0.0751 | 0.0821 | 0.0466 | 0.372 | 0.0847 |
| Bobolink | 1,431,000 | 45/7 | 3 | 1.427 | 0.0121 | 0.0684 | 0.0746 | 0.0470 | 0.371 | 0.0837 |
| Plover | 1,431,000 | 54/19 | 3 | 1.465 | 0.0120 | 0.0673 | 0.0735 | 0.0494 | 0.365 | 0.0829 |
| Lapwing | 1,590,000 | 45/7 | 3 | 1.502 | 0.0109 | 0.0623 | 0.0678 | 0.0498 | 0.364 | 0.0822 |
| Falcon | 1,590,000 | 54/19 | 3 | 1.545 | 0.0108 | 0.0612 | 0.0667 | 0.0523 | 0.358 | 0.0814 |
| Bluebird | 2,156,000 | 84/19 | 4 | 1.762 | 0.0080 | 0.0476 | 0.0515 | 0.0586 | 0.344 | 0.0776 |

Anexo D.2

Tabla de características eléctricas de conductores en Emelnorte

| Nombre de la línea | S/E Salida | S/E Llegada | Voltaje (kV) | Tipo | Calib | Cap Cond (A) | I máx (A) |
|-----------------------------|-------------------|--------------|--------------|-----------|-------|--------------|-----------|
| Cayambe Esperanza-Ecuajugos | Cayambe Esperanza | Ecuajugos | 69 | Pigeon | 3/0 | 300 | 300 |
| Cayambe-La Esperanza | Cayambe | La Esperanza | 69 | Hawk | 477 | 661 (670) | 670 |
| Otavallo-Cayambe | Otavallo | Cayambe | 69 | Partridge | 266,8 | 458 (460) | 460 |
| San Vicente-Otavallo | San Vicente | Otavallo | 69 | Hawk | 477 | 661 (670) | 670 |
| Atuntaqui-San Vicente | Atuntaqui | San Vicente | 69 | Hawk | 477 | 661 (670) | 670 |
| Trans Bellavista-Atuntaqui | Trans Bellavista | Atuntaqui | 69 | Hawk | 477 | 661 (670) | 670 |
| Bellavista-Cotacachi | Bellavista | Cotacachi | 69 | Hawk | 477 | 661 (670) | 670 |
| San Agustín-el Retorno | San Agustín | El Retorno | 69 | ACAR 550 | 550 | 644 | 640 |
| San Agustín-el Retorno | San Agustín | El Retorno | 69 | Hawk | 477 | 661 (670) | 670 |
| Bellavista-San Agustín | Bellavista | San Agustín | 69 | ACAR 550 | 550 | 644 | 640 |
| Bellavista-San Agustín | Bellavista | San Agustín | 69 | Hawk | 477 | 661 (670) | 670 |
| Bellavista-UNACEM | Bellavista | UNACEM | 69 | Hawk | 477 | 661 (670) | 670 |
| El Chota-La Carolina | El Chota | La Carolina | 69 | Partridge | 266,8 | 458 (460) | 460 |
| Alpachaca-El Ambi | Alpachaca | El Ambi | 34,5 | Raven | 1/0 | 241 | 241 |
| Alpachaca-El Chota | Alpachaca | El Chota | 69 | Linnet | 366,4 | 530 (529) | 529 |
| Alpachaca-Ajaví | Alpachaca | Ajaví | 69 | Hawk | 477 | 661 (670) | 670 |
| Bellavista-Alpachaca | Bellavista | Alpachaca | 69 | Linnet | 366,4 | 530 (529) | 529 |
| El Ángel-El Chota | El Ángel | El Chota | 69 | Linnet | 366,4 | 530 (529) | 529 |
| San Gabriel-El Ángel | San Gabriel | El Ángel | 69 | Linnet | 366,4 | 530 (529) | 529 |
| Tulcán Trans-San Gabriel | Tulcán Trans | San Gabriel | 69 | Linnet | 366,4 | 530 (529) | 529 |
| Bellavista-UNACEM | Bellavista | Yachay | 69 | ACAR 500 | 500 | 633 (640) | 670 |
| El Rosal-San Miguel | El Rosal | San Migel | 34,5 | Quail | 2/0 | 275 | 275 |
| Tulcán-El Rosal | Tulcán | El Rosal | 69 | Hawk | 477 | 661 (670) | 670 |
| Tulcán Trans-Tulcán | Tulcán Trans | Tulcán | 69 | Linnet | 366,4 | 530 (529) | 529 |
| Bellavista-Tulcán Trans | Bellavista | Tulcán Trans | 138 | Hawk | 477 | 661 (670) | 670 |
| Bellavista-Tulcán Trans | Bellavista | Tulcán Trans | 138 | Linnet | 366,4 | 530 (529) | 529 |
| Pomasqui-Ibarra | Pomasqui | Bellavista | 138 | Hawk | 477 | 661 (670) | 670 |
| Hilo de Guarda | | | 138 | Sparrow | 2 | 184 (185) | 185 |

Anexo E

Características eléctricas de los interruptores de Emelnorte

| Subestación | Localización | Apertura | Equipo | V (kV) | Marca | Tipo | Norma | Vn (kV) | In (A) | In de interrupción (kA) | I corta duración, 3 s (kA) | T apertura (s) |
|--------------|--------------------------|-----------------|---------------|--------|---------------------------------|-------------|---------------|---------|----------|-------------------------|----------------------------|----------------|
| La Esperanza | Circuito | 1 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600 | 18 | 23 | 0,033 |
| La Esperanza | Circuito | 2 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600 | 18 | 23 | 0,033 |
| La Esperanza | Circuito | 3 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600 | 18 | 23 | 0,033 |
| La Esperanza | Circuito | 4 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600 | 18 | 23 | 0,033 |
| La Esperanza | Circuito | 5 (Capacitores) | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600 | 18 | 23 | 0,033 |
| La Esperanza | Transformador | General | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| La Esperanza | Línea | Trafo-Cayambe | Disyuntor 52H | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| Cayambe | Circuito | 1 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Cayambe | Circuito | 2 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Cayambe | Circuito | 3 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Cayambe | Circuito | 4 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Cayambe | Circuito | 5 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Cayambe | Circuito | Capacitores | Disyuntor | 13,8 | Kyle Capacitor Switch | VCS3-27 | - | 29,2 | 200 | 20 | 12,5 | - |
| Cayambe | Transformador Mitsubishi | General T1 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Cayambe | Transformador Shaanxi | General T2 | Disyuntor | 13,8 | Bauen Efacec | CPI24D | IEC 62271-100 | 24 | 1250 | 25 | 63 | - |
| Cayambe | Transformador Mitsubishi | Transformador | Disyuntor 52H | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| Cayambe | Transformador Shaanxi | Transformador | Disyuntor | 69 | Siemens | 3AP1DTC | IEC 62271-205 | 145 | 2500 | 40 | - | - |
| Cayambe | Línea | La Esperanza | Disyuntor 52 | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| Otavaló | Circuito | 1 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Otavaló | Circuito | 2 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Otavaló | Circuito | 3 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |

| Subestación | Localización | Apertura | Equipo | V (kV) | Marca | Tipo | Norma | Vn (kV) | In (A) | In de interrupción (kA) | I corta duración, 3 s (kA) | T apertura (s) |
|-------------|---------------|----------------|---------------|--------|---------------------------------|-------------------|---------------|---------|----------|-------------------------|----------------------------|----------------|
| Otavallo | Circuito | 4 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Otavallo | Circuito | 5 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Otavallo | Transformador | General | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Otavallo | Transformador | Transformador | Disyuntor 52H | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| Otavallo | Línea | Cayambe | Disyuntor 52 | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| Otavallo | Línea | San Vicente | Disyuntor 52 | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| San Vicente | Circuito | 1 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |
| San Vicente | Circuito | 2 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |
| San Vicente | Circuito | 3 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |
| San Vicente | Circuito | 4 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |
| San Vicente | Circuito | 5 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |
| San Vicente | Circuito | Trafo Serv Aux | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |
| San Vicente | Transformador | General | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |
| San Vicente | Transformador | Transformador | Disyuntor | 69 | Areva | DT1-72,5 F1 FK | - | 72,5 | 1200 | 20 | - | 0,0284 |
| San Vicente | Línea | Otavallo | Disyuntor 52 | 69 | Areva | DT1-72,5 F1 FK | - | 72,5 | 1200 | 20 | - | 0,0284 |
| San Vicente | Línea | Bellavista | Disyuntor | 69 | Areva | DT1-72,5 F1 FK | - | 72,5 | 1200 | 20 | - | 0,0284 |
| Atuntaqui | Circuito | 1 | Disyuntor | 13,8 | ABB | | | | | | | |
| Atuntaqui | Circuito | 2 | Disyuntor | 13,8 | ABB Power T&DnCompany Inc. | | | 24 | 600/1200 | 25 | 25 | |
| Atuntaqui | Circuito | 3 | Disyuntor | 13,8 | | | | | | | | |
| Atuntaqui | Circuito | 4 | Disyuntor | 13,8 | | | | | | | | |
| Atuntaqui | Circuito | 5 | Disyuntor | 13,8 | | | | | | | | |
| Atuntaqui | Transformador | General | Disyuntor | 13,8 | | | | | | | | |
| Atuntaqui | Transformador | Transformador | Disyuntor | 69 | | | | | | | | |
| Atuntaqui | Línea | San Vicente | Disyuntor 52 | 69 | ALSTOM | DT1-72,5 F1 FK | - | 72,5 | 1200 | 20 | - | 0,0284 |
| Atuntaqui | Línea | Bellavista | Disyuntor 52 | 69 | | | | | | | | |
| Cotacachi | Circuito | 1 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600 | 18 | 23 | 0,033 |
| Cotacachi | Circuito | 2 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600 | 18 | 23 | 0,033 |
| Cotacachi | Circuito | 3 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600 | 18 | 23 | 0,033 |

| Subestación | Localización | Apertura | Equipo | V (kV) | Marca | Tipo | Norma | Vn (kV) | In (A) | In de interrupción (kA) | I corta duración, 3 s (kA) | T apertura (s) |
|-------------|---------------|-------------------|---------------|--------|---------------------------------|-------------------|---------------|---------|----------|-------------------------|----------------------------|----------------|
| Cotacachi | Circuito | 4 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600 | 18 | 23 | 0,033 |
| Cotacachi | Transformador | General | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Cotacachi | Línea | Trafo-Bellavista | Disyuntor 52H | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| El Retorno | Circuito | 1 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Retorno | Circuito | 2 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Retorno | Circuito | 3 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Retorno | Circuito | 4 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Retorno | Circuito | 5 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Retorno | Transformador | General | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Retorno | Línea | Trafo-San Agustín | Disyuntor 52H | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| San Agustín | Circuito | 1 | Disyuntor | 13,8 | ABB Power T&DnCompany Inc. | | | 15 | 1200 | 50 | 23 | |
| San Agustín | Circuito | 2 | Disyuntor | 13,8 | ABB Power T&DnCompany Inc. | | | 15 | 1200 | 50 | 23 | |
| San Agustín | Circuito | 3 | Disyuntor | 13,8 | ABB Power T&DnCompany Inc. | | | 15 | 1200 | 50 | 23 | |
| San Agustín | Circuito | 4 | Disyuntor | 13,8 | ABB Power T&DnCompany Inc. | | | 15 | 1200 | 50 | 23 | |
| San Agustín | Circuito | 5 | Disyuntor | 13,8 | ABB Power T&DnCompany Inc. | | | 15 | 1200 | 50 | 23 | |
| San Agustín | Circuito | Capacitores | Disyuntor | 13,8 | Kyle Capacitor Switch | VCS3-27 | - | 29,2 | 200 | 20 | 12,5 | - |
| San Agustín | Transformador | General | Disyuntor | 13,8 | ABB Power T&DnCompany Inc. | | | 15 | 1200 | 50 | 23 | |
| San Agustín | Transformador | Transformador | Disyuntor | 69 | ABB Power T&DnCompany Inc. | LTB145D1/B | - | 145 | 3150 | 7,9 | 31,5 | - |
| San Agustín | Línea | El Retorno | Disyuntor 52H | 69 | ABB Power T&DnCompany Inc. | LTB145D1/B | - | 145 | 3150 | 7,9 | 31,5 | - |
| San Agustín | Línea | Bellavista | Disyuntor 52H | 69 | ABB Power T&DnCompany Inc. | LTB145D1/B | - | 145 | 3150 | 7,9 | 31,5 | - |
| La Carolina | Circuito | 1 (Buenos Aires) | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |
| La Carolina | Circuito | 2 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |
| La Carolina | Circuito | 3 (Lita) | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |

| Subestación | Localización | Apertura | Equipo | V (kV) | Marca | Tipo | Norma | Vn (kV) | In (A) | In de interrupción (kA) | I corta duración, 3 s (kA) | T apertur a (s) |
|-------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|--------|---------------------------------|-------------------|------------------|---------|----------|-------------------------|----------------------------|-----------------|
| La Carolina | Circuito | 4 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |
| La Carolina | Circuito | Protección Trafo Serv Aux | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |
| La Carolina | Circuito | Trafo Serv Aux | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |
| La Carolina | Transformador TR1 | General | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |
| La Carolina | Transformador TR2 | General | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 20 | - |
| La Carolina | Transformador | Transformador TR2 | Disyuntor 52H | 69 | Areva | DT1-72,5 F1 FK | - | 72,5 | 1200 | 20 | - | 0,0284 |
| La Carolina | Línea | El Chota | Disyuntor 52H | 69 | Areva | DT1-72,5 F1 FK | - | 72,5 | 1200 | 20 | - | 0,0284 |
| El Chota | Circuito | 1 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Chota | Circuito | 2 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Chota | Circuito | 3 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Chota | Circuito | 4 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Chota | Transformador Mitsubishi | General | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub.56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Chota | Transformador Chino | General | Disyuntor | 13,8 | XD | LW24-40,5 | | 40,5 | 2500 | 31,5 | | |
| El Chota | Transformador Mitsubishi | Transformador | Disyuntor 52H | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| El Chota | Transformador Chino | Transformador | Disyuntor | 69 | XD | LW24-72,5 | | 72,5 | 2000 | 31,5 | | |
| El Chota | Línea | La Carolina | Disyuntor 52H | 69 | ABB | PASS MOO | - | 72,5 | 2000 | 31,5 | 31,5 kV (1s) | |
| Ajavi | Circuito | 1 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Ajavi | Circuito | 2 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Ajavi | Circuito | 3 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Ajavi | Circuito | 3,1 | Disyuntor | 6,3 | WHIPP AND BOURNER | GVR | ANSI-IEEE C37.60 | 15,6 | 560 | 6 | | |
| Ajavi | Circuito | 3,1 | Disyuntor /Seccionador | 6,3 | ROUTFIERN STATES | BBO | | 14,4 | 600 | | | |
| Ajavi | Circuito | 3,2 | Disyuntor | 6,3 | WHIPP AND BOURNER | GVR | ANSI-IEEE C37.60 | 15,6 | 560 | 6 | | |
| Ajavi | Circuito | 3,2 | Disyuntor/Seccionador | 6,3 | ROUTFIERN STATES | BBO | | 14,4 | 600 | | | |

| Subestación | Localización | Apertura | Equipo | V (kV) | Marca | Tipo | Norma | Vn (kV) | In (A) | In de interrupción (kA) | I corta duración, 3 s (kA) | T apertur a (s) |
|-------------|------------------|-------------------------------|-----------|--------|-----------|-------------------|---------------|---------|--------|-------------------------|----------------------------|-----------------|
| Ajavi | Circuito | 4 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Ajavi | Circuito | 5 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Ajavi | Transformador | General | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Ajavi | Circuito | Tranfo de Potencial y Alarmas | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Ajavi | Circuito | Servicios Auxiliares | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Ajavi | Circuito | Banco de Capacitores | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-200 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Ajavi | Circuito | Tablero de Distribucion | Disyuntor | 0,6 | Schneider | | IEC 60439-1 | 660 | 250 | 10 | | - |
| Ajavi | Transformador | Transfo-Alpachaca | Disyuntor | 69 | ALSTOM | DT1-72,5 F1 FK | - | 72,5 | 1200 | 20 | - | 0,0284 |
| Alpachaca | Circuito | 1 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-700 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Alpachaca | Circuito | 2 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-700 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Alpachaca | Circuito | 3 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-700 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Alpachaca | Circuito | 4 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-700 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Alpachaca | Circuito | 5 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-700 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Alpachaca | Circuito | 6 | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-700 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Alpachaca | Transformador T1 | Transformador | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-700 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Alpachaca | Transformador T1 | Transformador | Disyuntor | 69 | Areva | DT1-72,5 F1 FK | - | 72,5 | 1200 | 20 | - | 0,0284 |
| Alpachaca | Transformador T2 | Transformador | Disyuntor | 13,8 | Schneider | LSC2B-PM-IAC-AFLR | IEC 62271-700 | 24 | 1250 | 25 | 25 | - |
| Alpachaca | Transformador T2 | Transformador | Disyuntor | 69 | ALSTOM | DT1-72,5 F1 FK | - | 72,5 | 1200 | 20 | - | 0,0284 |
| Alpachaca | Transformador T3 | Transformador | Disyuntor | 34,5 | Areva | DT1-72,5 F1 | - | 72,5 | 600 | 40 | - | 0,0284 |
| Alpachaca | Transformador T3 | Transformador | Disyuntor | 69 | Areva | DT1-72,5 F1 FK | - | 72,5 | 1200 | 20 | - | 0,0284 |
| Alpachaca | Línea | El Retorno | Disyuntor | 69 | Areva | DT1-72,5 F1 FK | - | 72,5 | 1200 | 20 | - | 0,0284 |
| Alpachaca | Línea | Ajavi | Disyuntor | 69 | Areva | DT1-72,5 F1 FK | - | 72,5 | 1200 | 20 | - | 0,0284 |
| Alpachaca | Línea | El Chota | Disyuntor | 69 | Areva | DT1-72,5 F1 FK | - | 72,5 | 1200 | 20 | - | 0,0284 |
| Alpachaca | Línea | Bellavista | Disyuntor | 69 | Areva | DT1-72,5 F1 FK | - | 72,5 | 1200 | 20 | - | 0,0284 |

| Subestación | Localización | Apertura | Equipo | V (kV) | Marca | Tipo | Norma | Vn (kV) | In (A) | In de interrupción (kA) | I corta duración, 3 s (kA) | T apertura (s) |
|-------------|---------------|--------------------------|---------------|--------|---------------------------------|-------------|------------|---------|----------|-------------------------|----------------------------|----------------|
| El Ángel | Circuito | 1 (Bolívar) | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Ángel | Circuito | 2 (El Ángel) | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Ángel | Circuito | 3 (Mira) | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Ángel | Transformador | General | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| El Ángel | Transformador | Transformador | Disyuntor 52H | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| El Ángel | Línea | Alpachaca-El Chota | Disyuntor 52H | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| El Ángel | Línea | San Gabriel | Disyuntor 52H | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| San Gabriel | Circuito | 1 (Huaca J Andrade) | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| San Gabriel | Circuito | 2 (Terminal T Haciendas) | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| San Gabriel | Circuito | 3 (San Gabriel) | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| San Gabriel | Circuito | 4 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| San Gabriel | Circuito | 5 (La Paz Bolívar) | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| San Gabriel | Transformador | General | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| San Gabriel | Transformador | Transformador | Disyuntor 52H | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| San Gabriel | Línea | El Ángel | Disyuntor 52H | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| San Gabriel | Línea | Tulcán | Disyuntor 52H | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |
| Tulcán | Circuito | 1 (Norte) | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Tulcán | Circuito | 2 (Centro) | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Tulcán | Circuito | 3 (Sur) | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Tulcán | Circuito | 4 (Tufiño) | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Tulcán | Circuito | 5 | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Tulcán | Transformador | General | Disyuntor | 13,8 | Mitsubishi Electric Corporation | 20-VPR-25B | IEC Pub 56 | 13,8 | 600/1200 | 18 | 23 | 0,033 |
| Tulcán | Transformador | Transformador | Disyuntor 52H | 69 | Mitsubishi Electric Corporation | 70-SFMT-25B | - | 72,5 | 600 | 20 | - | 0,028 |

Anexo F

Características eléctricas de los seccionadores de Emelnorte

| Subestación | Localización | Apertura | Equipo | V (kV) | Vn (kV) | In (A) | In de interrupción (kA) |
|--------------|--------------------------|---------------|---------------------|--------|---------|--------|-------------------------|
| La Esperanza | Línea | Cayambe | Seccionador 89HL | 69 | 72,5 | 600 | - |
| La Esperanza | Línea | Cayambe | Seccionador PT 57HL | 69 | 72,5 | - | - |
| Cayambe | Transformador Mitsubishi | Transformador | Seccionador 89HB | 69 | 72,5 | 600 | - |
| Cayambe | Transformador Mitsubishi | Transformador | Seccionador PT 57HB | 69 | 72,5 | - | - |
| Cayambe | Transformador Shaanxi | Transformador | Seccionador 89HB | 69 | 145 | 2500 | |
| Cayambe | Transformador Shaanxi | Transformador | Seccionador PT 57HB | 69 | 145 | 2500 | |
| Cayambe | Línea | La Esperanza | Seccionador 89H-1L | 69 | 72,5 | 600 | - |
| Cayambe | Línea | La Esperanza | Seccionador 89H-2B | 69 | 72,5 | 600 | - |
| Cayambe | Línea | La Esperanza | Seccionador PT 57HL | 69 | 72,5 | - | - |
| Otavaló | Transformador | Transformador | Seccionador 89H | 69 | 72,5 | 600 | - |
| Otavaló | Línea | Cayambe | Seccionador 89-1 | 69 | 72,5 | 600 | - |
| Otavaló | Línea | Cayambe | Seccionador 89-2 | 69 | 72,5 | 600 | - |
| Otavaló | Línea | Cayambe | Seccionador PT 57 | 69 | 72,5 | - | - |
| Otavaló | Línea | San Vicente | Seccionador 89-1 | 69 | 72,5 | 600 | - |
| Otavaló | Línea | San Vicente | Seccionador 89-2 | 69 | 72,5 | 600 | - |
| Otavaló | Línea | San Vicente | Seccionador PT 57 | 69 | 72,5 | - | - |
| San Vicente | Transformador | Transformador | Seccionador 89H-B | 69 | 72,5 | 1200 | |
| San Vicente | Línea | Otavaló | Seccionador 89-1 | 69 | 72,5 | 1200 | |
| San Vicente | Línea | Otavaló | Seccionador 89-2 | 69 | 72,5 | 1200 | |
| San Vicente | Línea | Otavaló | Seccionador PT 57 | 69 | 72,5 | - | |
| San Vicente | Línea | Bellavista | Seccionador 89-1 | 69 | 72,5 | 1200 | |
| San Vicente | Línea | Bellavista | Seccionador 89-2 | 69 | 72,5 | 1200 | |
| San Vicente | Línea | Bellavista | Seccionador PT 57 | 69 | 72,5 | - | |
| Atuntaqui | Transformador | Transformador | Seccionador | 69 | | | |
| Atuntaqui | Transformador | Transformador | Seccionador PT | 69 | | | |
| Atuntaqui | Línea | San Vicente | Seccionador 89-1L | 69 | 72,5 | 600 | |
| Atuntaqui | Línea | San Vicente | Seccionador 89-2B | 69 | 72,5 | 600 | |
| Atuntaqui | Línea | San Vicente | Seccionador PT 57 | 69 | 72,5 | 600 | |
| Atuntaqui | Línea | Bellavista | Seccionador 89-1L | 69 | | | |

| Subestación | Localización | Apertura | Equipo | V (kV) | Vn (kV) | In (A) | In de interrupción (kA) |
|-------------|--------------------------|----------------------|---------------------|--------|---------|--------|-------------------------|
| Atuntaqui | Línea | Bellavista | Seccionador 89-2B | 69 | | | |
| Atuntaqui | Línea | Bellavista | Seccionador PT 57 | 69 | | | |
| Cotacachi | Línea | Cayambe | Seccionador 89H | 69 | 72,5 | 600 | - |
| Cotacachi | Línea | Cayambe | Seccionador PT 57H | 69 | 72,5 | - | - |
| El Retorno | Línea | San Agustin | Seccionador 89HB | 69 | 72,5 | 600 | - |
| El Retorno | Línea | San Agustin | Seccionador PT 57HB | 69 | 72,5 | - | - |
| San Agustin | Línea | El Retorno | Seccionador 89H-1L | 69 | 145 | 3150 | |
| San Agustin | Línea | El Retorno | Seccionador 89H-2B | 69 | 145 | 3150 | |
| San Agustin | Línea | El Retorno | Seccionador PT 57HL | 69 | 145 | - | |
| San Agustin | Línea | Bellavista | Seccionador 89H-1L | 69 | 145 | 3150 | |
| San Agustin | Línea | Bellavista | Seccionador 89H-2B | 69 | 145 | 3150 | |
| San Agustin | Línea | Bellavista | Seccionador PT 57HL | 69 | 145 | - | |
| La Carolina | Transformador | Transformador TR2 | Seccionador 89H-B | 69 | 72,5 | 1200 | |
| La Carolina | Transformador | Transformador Futuro | Seccionador 89H-B | 69 | 72,5 | 1200 | |
| La Carolina | Línea | El Chota | Seccionador 89H-1L | 69 | 72,5 | 1200 | |
| La Carolina | Línea | El Chota | Seccionador 89H-2B | 69 | 72,5 | 1200 | |
| La Carolina | Línea | El Chota | Seccionador PT 57HL | 69 | 72,5 | - | |
| El Chota | Transformador Mitsubishi | Transformador | Seccionador 89H | 69 | 72,5 | 600 | - |
| El Chota | Transformador Mitsubishi | Transformador | Seccionador PT 57H | 69 | 72,5 | - | - |
| El Chota | Línea | La Carolina | Seccionador 89HB | 69 | 72,5 | 2000 | |
| Ajavi | Línea | Alpachaca | Seccionador 89H | 69 | 72,5 | 1200 | |
| Ajavi | Línea | Alpachaca | Seccionador PT 57H | 69 | 72,5 | - | |
| Alpachaca | Transformador T1 | Transformador | Seccionador 89H | 69 | 72,5 | 1200 | |
| Alpachaca | Transformador T2 | Transformador | Seccionador 89H | 69 | 72,5 | 1200 | |
| Alpachaca | Transformador T3 | Transformador | Seccionador 89H-1 | 34,5 | 72,5 | 1200 | |
| Alpachaca | Transformador T3 | Transformador | Seccionador 89H-2 | 34,5 | 72,5 | 1200 | |
| Alpachaca | Transformador T3 | Transformador | Seccionador 57H | 34,5 | 72,5 | - | |
| Alpachaca | Transformador T3 | Transformador | Seccionador 89H | 69 | 72,5 | 1200 | |
| Alpachaca | Línea | El Retorno | Seccionador 89H-1 | 69 | 72,5 | 1200 | |
| Alpachaca | Línea | El Retorno | Seccionador 89H-2 | 69 | 72,5 | 1200 | |
| Alpachaca | Línea | El Retorno | Seccionador 57H | 69 | 72,5 | - | |
| Alpachaca | Línea | Ajavi | Seccionador 89H-1 | 69 | 72,5 | 1200 | |

| Subestación | Localización | Apertura | Equipo | V (kV) | Vn (kV) | In (A) | In de interrupción (kA) |
|-------------|---------------|--------------------|---------------------|-----------|---------|--------|-------------------------|
| Alpachaca | Línea | Ajavi | Seccionador 89H-2 | 69 | 72,5 | 1200 | |
| Alpachaca | Línea | Ajavi | Seccionador 57H | 69 | 72,5 | - | |
| Alpachaca | Línea | El Chota | Seccionador 89H-1 | 69 | 72,5 | 1200 | |
| Alpachaca | Línea | El Chota | Seccionador 89H-2 | 69 | 72,5 | 1200 | |
| Alpachaca | Línea | El Chota | Seccionador 57H | 69 | 72,5 | - | |
| Alpachaca | Línea | Bellavista | Seccionador 89H-1 | 69 | 72,5 | 1200 | |
| Alpachaca | Línea | Bellavista | Seccionador 89H-2 | 69 | 72,5 | 1200 | |
| Alpachaca | Línea | Bellavista | Seccionador 57H | 69 | 72,5 | - | |
| El Ángel | Transformador | Transformador | Seccionador 89HB | 69 | 72,5 | 600 | - |
| El Ángel | Línea | Alpachaca-El Chota | Seccionador 89H-1L | 69 | 72,5 | 600 | - |
| El Ángel | Línea | Alpachaca-El Chota | Seccionador 89H-2B | 69 | 72,5 | 600 | - |
| El Ángel | Línea | Alpachaca-El Chota | Seccionador PT 57HL | 69 | 72,5 | - | - |
| El Ángel | Línea | San Gabriel | Seccionador 89H-1L | 69 | 72,5 | 600 | - |
| El Ángel | Línea | San Gabriel | Seccionador 89H-2B | 69 | 72,5 | 600 | - |
| El Ángel | Línea | San Gabriel | Seccionador PT 57HL | 69 | 72,5 | - | - |
| San Gabriel | Transformador | Transformador | Seccionador 89HB | 69 | 72,5 | 600 | - |
| San Gabriel | Línea | El Ángel | Seccionador 89H-1L | 69 | 72,5 | 600 | - |
| San Gabriel | Línea | El Ángel | Seccionador 89H-2B | 69 | 72,5 | 600 | - |
| San Gabriel | Línea | El Ángel | Seccionador PT 57HL | 69 | 72,5 | - | - |
| San Gabriel | Línea | Tulcán | Seccionador 89H-1L | 69 | 72,5 | 600 | - |
| San Gabriel | Línea | Tulcán | Seccionador 89H-2B | 69 | 72,5 | 600 | - |
| San Gabriel | Línea | Tulcán | Seccionador PT 57HL | 69 | 72,5 | - | - |
| Tulcán | Transformador | Transformador | Seccionador 89HB | 69 | 72,5 | 600 | - |
| Tulcán | Transformador | Transformador | Seccionador PT 57HB | 69 | 72,5 | - | - |
| Tulcán | Línea | El Rosal | Seccionador 89HL | 69 | 72,5 | 2000 | |
| Tulcán | Línea | El Rosal | Seccionador 89HB | 69 | 72,5 | 2000 | |

Anexo G

Características eléctricas de los relés de sobrecorriente de Emelnorte

| S/E | Zona | V (kV) | Marca | Tipo | Tecnología | Norma | RTC Protección | | Clase TC | Línea | Modelo | Tipo curva | Dial | Inst (A) |
|------------------|------------------|--------|------------|---------|-----------------|-------|----------------|-------------|----------|----------|---------|------------|------|----------|
| La Esperanza | C1 | 13,8 | ABB | SPAA | Numérico | IEC | 200 | 5 | 10P20 | F | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 690 |
| | | | | | | | | | | N | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 690 |
| | C2 | 13,8 | ABB | SPAA | Numérico | IEC | 200 | 5 | 10P20 | F | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 1400 |
| | | | | | | | | | | N | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 1400 |
| | C3 | 13,8 | ABB | SPAA | Numérico | IEC | 200 | 5 | 10P20 | F | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 800 |
| | | | | | | | | | | N | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 800 |
| | C4 | 13,8 | ABB | SPAA | Numérico | IEC | 200 | 5 | 10P20 | F | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 1400 |
| | | | | | | | | | | N | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 1400 |
| Cayambe | C5 (Capacitor) | 13,8 | ABB | SPAA | Numérico | IEC | 200 | 5 | 10P20 | F | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 700 |
| | | | | | | | | | | N | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 700 |
| | General | 13,8 | ABB | SPAJ | Numérico | IEC | 1000 | 5 | 10P20 | F | 140C | Very Inv | 0,1 | 2000 |
| | | | | | | | | | | N | 140C | Very Inv | 0,2 | 2000 |
| | Alim | 13,8 | ABB | SPAF | Numérico | IEC | 13,8/√3 /0, kV | 0,115/√3 kV | TP: 0,6 | 340C3-AA | | | | |
| | C1 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | 10C100 | F | PJ213 | Very Inv | 1 | 1500 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 2 | 1500 |
| | C2 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | 10C100 | F | PJ213 | Very Inv | 2 | 1500 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 2 | 1500 |
| Otavalo | C3 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | 10C100 | F | PJ213 | Very Inv | 2 | 1500 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 2 | 1500 |
| | C4 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | 10C100 | F | PJ213 | Very Inv | 2 | 1500 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 2 | 1500 |
| | C5 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | 10C100 | F | PJ213 | Very Inv | 2 | 1500 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 2 | 1500 |
| | General T1 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-8I-D | Electromecánico | ANSI | 600 | 5 | 10C200 | F | PJ202 | Normal Inv | 1 | 1200 |
| | | | | | | | | | | N | PJ198 | Normal Inv | 3 | 3600 |
| S/E La Esperanza | General T2 | 13,8 | SEL | SEL-551 | Digital | IEC | 600 | 5 | 10C200 | F | SEL 551 | Inversa | 1 | 4140 |
| | | | | | | | | | | N | SEL 551 | Inversa | No | No |
| | Alim | 13,8 | Areva | Micom | Digital | IEC | 13,8/√3 /0, kV | 0,115/√3 kV | TP: 0,6 | P923 | | | | |
| | S/E La Esperanza | 69 | ABB | SPAJ | Numérico | IEC | 300 | 5 | 10P20 | F | 140C | Very Inv | 0,3 | 675 |
| | | | | | | | | | | N | 140C | Very Inv | 0,9 | 450 |
| | C1 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | 10C100 | F | PJ213 | Very Inv | 1 | 1000 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 1 | 500 |
| | C2 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | 10C100 | F | PJ213 | Very Inv | 1 | 1000 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 1 | 500 |
| | C3 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | 10C100 | F | PJ213 | Very Inv | 1 | 1000 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 1 | 500 |
| | C4 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | 10C100 | F | PJ213 | Very Inv | 1 | 1000 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 1 | 500 |
| | C5 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | 10C100 | F | PJ213 | Very Inv | 1 | 1000 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 1 | 500 |
| | Capacitores | 13,8 | No | No | No | No | 100 | 5 | No | | | | | 0 |

| S/E | Zona | V (kV) | Marca | Tipo | Tecnología | Norma | RTC Protección | | Clase TC | Línea | Modelo | Tipo curva | Dial | Inst (A) |
|-------------|------------------|--------|------------------|----------|-----------------|-------|----------------|-------------|----------|-------|---------|------------|-------|----------|
| | General | 13,8 | MITSUBISHI | CO-8I-D | Electromecánico | ANSI | 500 | 5 | 10C200 | F | PJ202 | Normal Inv | 1 | 4000 |
| | | | | | | | | | | N | PJ198 | Normal Inv | 2 | 1500 |
| | Alim | 13,8 | General Electric | DFF | Digital | IEC | 13,8/√3 /0, kV | 0,115/√3 kV | | DFF | | | | |
| | S/E Cayambe | 69 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 300 | 5 | 10C100 | F | PJ212 | Very Inv | 1,5 | 1200 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 6 | 600 |
| | S/E San Vicente | 69 | MITSUBISHI | CR-9I-D | Electromecánico | ANSI | 100 | 5 | 10C100 | F | PJ392 | Very Inv | 3 | 1600 |
| | | | | CRP-9I-D | | | | | | N | PJ470 | Very Inv | 9 | 800 |
| | | | | | | | | | | F | S80 | Very Inv | 0,2 | 990 |
| San Vicente | C1 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 150 | 5 | 5P20 | N | S80 | Very Inv | 0,3 | 990 |
| | C2 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 150 | 5 | 5P20 | F | S80 | Very Inv | 0,2 | 990 |
| | | | | | | | | | | N | S80 | Very Inv | 0,3 | 990 |
| | C3 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 200 | 5 | 5P20 | F | S80 | Very Inv | 0,2 | 990 |
| | | | | | | | | | | N | S80 | Very Inv | 0,3 | 990 |
| | C4 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 150 | 5 | 5P20 | F | S80 | Very Inv | 0,2 | 990 |
| | | | | | | | | | | N | S80 | Very Inv | 0,3 | 990 |
| | C5 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 150 | 5 | 5P20 | F | S80 | Very Inv | 0,2 | 990 |
| | | | | | | | | | | N | S80 | Very Inv | 0,3 | 990 |
| | General | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 600 | 5 | 5P20 | F | S80 | Very Inv | 0,2 | 2499,96 |
| | | | | | | | | | | N | S80 | Very Inv | 0,5 | 2499,96 |
| | General | 69 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 150 | 5 | 5P20 | F | S80 | Very Inv | 0,4 | 810 |
| | | | | | | | | | | N | S80 | Very Inv | 0,9 | 810 |
| | S/E Otavalo | 69 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 400 | 5 | 5P20 | F | S82 | Very Inv | 0,1 | 1600 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,347 | 1000 |
| Atuntaqui | S/E Atuntaqui | 69 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 400 | 5 | 5P20 | F | S82 | Very Inv | No | No |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | No | No |
| | C1 | 13,8 | ABB | REF 615 | Digital | IEC | 300 | 5 | 5P20 | F | REF 615 | Ext Inv | 0,3 | 0 |
| | | | | | | | | | | N | REF 615 | Ext Inv | 0,3 | 0 |
| | C2 | 13,8 | ABB | REF 615 | Digital | IEC | 300 | 5 | 5P20 | F | REF 615 | Ext Inv | 0,3 | 0 |
| | | | | | | | | | | N | REF 615 | Ext Inv | 0,3 | 0 |
| | C3 | 13,8 | ABB | REF 615 | Digital | IEC | 300 | 5 | 5P20 | F | REF 615 | Ext Inv | 0,3 | 0 |
| | | | | | | | | | | N | REF 615 | Ext Inv | 0,3 | 0 |
| | C4 | 13,8 | ABB | REF 615 | Digital | IEC | 300 | 5 | 5P20 | F | REF 615 | Ext Inv | 0,3 | 0 |
| | | | | | | | | | | N | REF 615 | Ext Inv | 0,3 | 0 |
| | C5 | 13,8 | ABB | REF 615 | Digital | IEC | 300 | 5 | 5P20 | F | REF 615 | Ext Inv | 0,3 | 0 |
| | | | | | | | | | | N | REF 615 | Ext Inv | 0,3 | 0 |
| | General | 13,8 | ABB | RET 620 | Digital | IEC | 1200 | 5 | 5P20 | F | RET 620 | Very Inv | 0,3 | 0 |
| | | | | | | | | | | N | RET 620 | Very Inv | 0,4 | 0 |
| Cotacachi | S/E San Vicente | 69 | ABB | REF 620 | Digital | IEC | 400 | 5 | 5P20 | F | REF 620 | Very Inv | 0,5 | 2413 |
| | | | | | | | | | | N | REF 620 | Very Inv | 1 | 2172 |
| | S/E Trans Ibarra | 69 | ABB | REF 620 | Digital | IEC | 500 | 5 | 5P20 | F | REF 620 | Very Inv | No | No |
| | | | | | | | | | | N | REF 620 | Very Inv | No | No |
| | C1 | 13,8 | ABB | SPAA | Numérico | IEC | 100 | 5 | 10P20 | F | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 500 |
| | | | | | | | | | | N | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 500 |
| | C2 | 13,8 | ABB | SPAA | Numérico | IEC | 150 | 5 | 10P20 | F | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 750 |
| | | | | | | | | | | N | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 750 |

| S/E | Zona | V (kV) | Marca | Tipo | Tecnología | Norma | RTC Protección | | Clase TC | Línea | Modelo | Tipo curva | Dial | Inst (A) | |
|----------------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------|---------|----------------|-------------|----------|---------|----------|------------|----------|----------|------|
| | C3 | 13,8 | ABB | SPAA | Numérico | IEC | 150 | 5 | 10P20 | F | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 750 | |
| | | | | | | | | | | N | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 750 | |
| | C4 | 13,8 | ABB | SPAA | Numérico | IEC | 100 | 5 | 10P20 | F | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 500 | |
| | | | | | | | | | | N | 341C2 | Very Inv | 0,2 | 500 | |
| | Capacitores | 13,8 | No | No | No | No | | 5 | No | | | | No | No | |
| | General | 13,8 | ABB | SPAJ | Numérico | IEC | 500 | 5 | 10P20 | F | 140C | Very Inv | 0,2 | 2000 | |
| El Retorno | C1 | 13,8 | General Electric | Multilin | Digital | IEC | 250 | 5 | C100 | N | 140C | Very Inv | 0,2 | 2000 | |
| | | | | | | | | | | F | F35 | Very Inv | 1 | 2000 | |
| | C2 | 13,8 | General Electric | Multilin | Digital | IEC | 250 | 5 | C100 | N | F35 | Very Inv | 2 | 1500 | |
| | | | | | | | | | | F | F35 | Very Inv | 1 | 2000 | |
| | C3 (Cap) | 13,8 | General Electric | Multilin | Digital | IEC | 250 | 5 | C100 | N | F35 | Very Inv | 2 | 950 | |
| | | | | | | | | | | F | F35 | Very Inv | 1 | 2000 | |
| | C4 | 13,8 | General Electric | Multilin | Digital | IEC | 250 | 5 | C100 | N | F35 | Very Inv | 2 | 1500 | |
| | | | | | | | | | | F | F35 | Very Inv | 1 | 2000 | |
| | C5 | 13,8 | General Electric | Multilin | Digital | IEC | 250 | 5 | C100 | N | F35 | Very Inv | 2 | 1450 | |
| | | | | | | | | | | F | F35 | Very Inv | 1 | 2050 | |
| | General | 13,8 | General Electric | Multilin | Digital | IEC | 600 | 5 | C200 | N | F35 | Very Inv | 2 | 1450 | |
| | | | | | | | | | | F | T60 | Very Inv | 1 | 2400 | |
| | San Agustin | C1 | 13,8 | ABB | DPU 2000R | Digital | IEC | 250 | 5 | C100 | N | T60 | Very Inv | 1 | 2280 |
| | | | | | | | | | | | F | REF 544 | Ext Inv | 2 | 750 |
| C2 | | 13,8 | ABB | DPU 2000R | Digital | IEC | 250 | 5 | C100 | N | REF 544 | Ext Inv | 2 | 900 | |
| | | | | | | | | | | F | REF 544 | Ext Inv | 2 | 750 | |
| C3 | | 13,8 | ABB | DPU 2000R | Digital | IEC | 250 | 5 | C100 | N | REF 544 | Ext Inv | 2 | 900 | |
| | | | | | | | | | | F | REF 544 | Ext Inv | 2 | 750 | |
| C4 | | 13,8 | ABB | DPU 2000R | Digital | IEC | 250 | 5 | C100 | N | REF 544 | Ext Inv | 2 | 900 | |
| | | | | | | | | | | F | REF 544 | Ext Inv | 2 | 750 | |
| C5 | | 13,8 | ABB | DPU 2000R | Digital | IEC | 250 | 5 | C100 | N | REF 544 | Ext Inv | 2 | 900 | |
| | | | | | | | | | | F | REF 544 | Ext Inv | 2 | 900 | |
| Capacitores | | 13,8 | No | | | | | 5 | | | | | | 0 | |
| General | | 13,8 | ABB | TPU 2000R | Digital | IEC | 600 | 5 | C100 | N | REF 544 | Ext Inv | 4 | 1200 | |
| | | | | | | | | | | F | REF 544 | Ext Inv | 2 | 2400 | |
| Alim | | 13,8 | ABB | SPAF | Numérico | IEC | 13,8/√3 /0, kV | 0,115/√3 kV | TP: 0,6 | | | | | | |
| S/E El Retorno | 69 | ABB | REF542 | Numérico | IEC | 600 | 5 | C100 | N | REF 542 | Ext Inv | 0,5 | 1440 | | |
| | | | | | | | | | F | REF 542 | Ext Inv | 0,5 | 1200 | | |
| | S/E Trans Ibarra | 69 | ABB | REF542 | Numérico | IEC | 600 | 5 | C100 | N | REF 542 | Ext Inv | 0,5 | 1440 | |
| | | | | | | | | | | F | REF 542 | Ext Inv | 0,5 | 1200 | |
| La Carolina | C1 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 100 | 5 | 5P20 | N | S80 | Very Inv | 0,2 | 850 | |
| | | | | | | | | | | F | S80 | Very Inv | 0,2 | 850 | |
| | C2 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 100 | 5 | 5P20 | N | S80 | Very Inv | 0,2 | 850 | |
| | | | | | | | | | | F | S80 | Very Inv | 0,2 | 850 | |
| | C3 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 100 | 5 | 5P20 | N | S80 | Very Inv | 0,2 | 850 | |
| | | | | | | | | | | F | S80 | Very Inv | 0,2 | 850 | |
| C4 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 100 | 5 | 5P20 | N | S80 | Very Inv | 0,2 | 850 | | |
| | | | | | | | | | F | S80 | Very Inv | 0,2 | 850 | | |

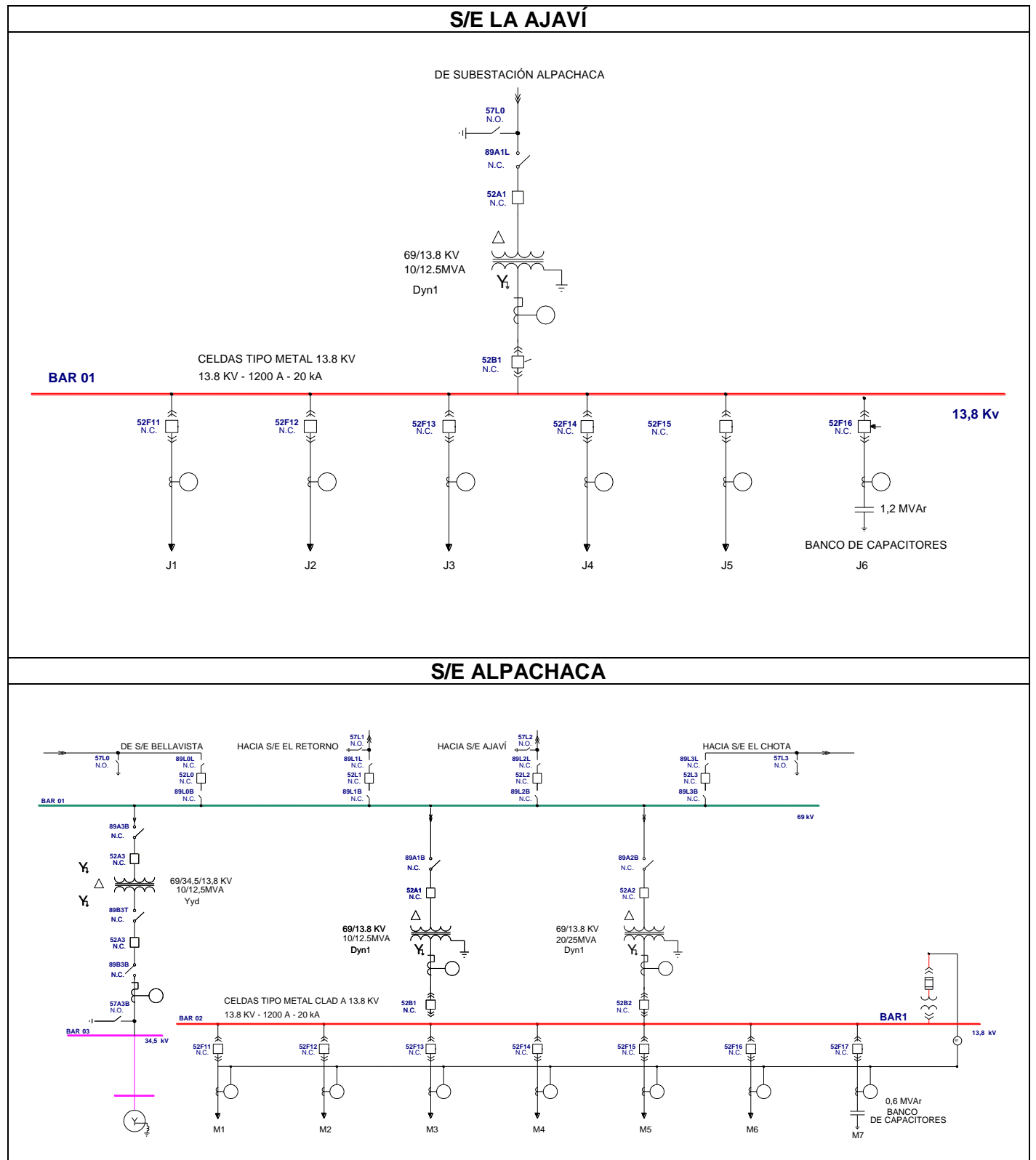
| S/E | Zona | V (kV) | Marca | Tipo | Tecnología | Norma | RTC Protección | | Clase TC | Línea | Modelo | Tipo curva | Dial | Inst (A) |
|-----------|--------------------|--------|------------|-----------|-----------------|-------|----------------|-------------|----------|---------|---------|------------|-------|-----------|
| | General | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 300 | 5 | 5P20 | F | T87 | Very Inv | 0,2 | 1000,0002 |
| | | | | | | | | | | N | T87 | Very Inv | 0,2 | 1000,0002 |
| | S/E El Chota | 69 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 100 | 5 | 5P20 | F | S82 | Very Inv | 0,2 | 1200 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,2 | 660 |
| El Chota | C1 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 150 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 1 | 900 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 1 | 750 |
| | C3 No oper | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 150 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 1 | 900 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 1 | 750 |
| | C4 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 150 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 1 | 900 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 1 | 750 |
| | General T1 (5 Mit) | 13,8 | MITSUBISHI | CO-8I-D | Electromecánico | ANSI | 300 | 5 | C200 | F | PJ203 | Normal Inv | 1 | 1800 |
| | | | | | | | | | | N | PJ198 | Normal Inv | 1 | 1500 |
| | C2 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 150 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 1 | 1140 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 1 | 1200 |
| | Gen T2 (5,25 Chi) | 13,8 | ABB | SPAA | Numérico | IEC | 200 | 5 | C200 | F | 341C | Very Inv | 0,2 | 1200 |
| | | | | | | | | | | N | | Very Inv | 0,2 | 1000 |
| Ajaví | Alim | 13,8 | SIEMENS | 7RW6000 | Digital | IEC | 13,8/√3 /0, kV | 0,115/√3 kV | TP: 0,6 | 7RW6000 | | | | |
| | S/E La Carolina | 69 | ABB | REF541 | Numérico | IEC | 100 | 5 | 5P20 | F | REF 541 | Very Inv | 0,6 | 1000 |
| | | | | | | | | | | N | REF 541 | Very Inv | 0,9 | 1000 |
| | C1 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 150 | 5 | 5P30 | F | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | C2 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 150 | 5 | 5P30 | F | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | C3-1 | 6,3 | ABB | DPU 2000R | Digital | IEC | | 5 | C100 | | | | | |
| | C3-2 | 6,3 | ABB | DPU 2000R | Digital | IEC | | 5 | C100 | | | | | |
| | C3 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 150 | 5 | 5P30 | F | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | C4 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 150 | 5 | 5P30 | F | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| Alpachaca | C5 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 150 | 5 | 5P30 | F | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | Capacitores | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 300 | 5 | 5P30 | F | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | General | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 600 | 5 | 5P30 | F | T87 | Very Inv | 0,1 | 1500 |
| | | | | | | | | | | N | T87 | Very Inv | 0,147 | 1500 |
| | Totalizador AV | 69 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | | 5 | 5P20 | F | T87 | | | 0 |
| | | | | | | | | | | N | T87 | | | 0 |
| | C1 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 300 | 5 | 5P30 | F | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | C2 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 300 | 5 | 5P30 | F | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | C3 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 300 | 5 | 5P30 | F | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | C4 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 300 | 5 | 5P30 | F | S82 | Very Inv | 0,6 | 600 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,8 | 600 |

| S/E | Zona | V (kV) | Marca | Tipo | Tecnología | Norma | RTC Protección | | Clase TC | Línea | Modelo | Tipo curva | Dial | Inst (A) |
|-------------|----------------------|--------|------------|----------|-----------------|-------|----------------|-------------|----------|---------|--------|------------|------|----------|
| | C5 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 100 | 5 | 5P30 | F | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | C6 | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 300 | 5 | 5P30 | F | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,2 | 900 |
| | General T1 (10) | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 600 | 5 | 5P30 | F | S82 | Very Inv | 0,2 | 1500 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,2 | 1500 |
| | General T2 (20) | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 1200 | 5 | 5P30 | F | S82 | Very Inv | 0,1 | 3000 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,1 | 3000 |
| | C. El Ambi | 34,5 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 250 | 5 | 5P20 | F | S82 | Very Inv | 0,5 | 800 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,3 | 800 |
| | S/E Trans Ibarra | 69 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 600 | 5 | 5P20 | F | S82 | Very Inv | No | No |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | No | No |
| | S/E Ajavi | 69 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 150 | 5 | 5P20 | F | S82 | Very Inv | 0,3 | 1200 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,9 | 1200 |
| | S/E El Angel (Chota) | 69 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 200 | 5 | 5P20 | F | S82 | Very Inv | 0,3 | 1200 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,9 | 1200 |
| | S/E El Retorno | 69 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 250 | 5 | 5P20 | F | S82 | Very Inv | 0,3 | 1200 |
| | | | | | | | | | | N | S82 | Very Inv | 0,9 | 1200 |
| El Angel | C1 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 100 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 3 | 800 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 2 | 600 |
| | C2 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 100 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 2,5 | 600 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 2 | 600 |
| | C3 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 100 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 2,5 | 600 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 2 | 600 |
| | Totalizador | 13,8 | MITSUBISHI | CO-8I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | C200 | F | PJ200 | Normal Inv | 2 | 1500 |
| | | | | | | | | | | N | PJ198 | Normal Inv | 3 | 1500 |
| | Alim | 13,8 | SIEMENS | 7RW6000 | Digital | IEC | 13,8/√3 /0, kV | 0,115/√3 kV | TP: 0,6 | 7RW6000 | | | | |
| | S/E Alpachaca (Chot) | 69 | MITSUBISHI | CR-9I-D | Electromecánico | ANSI | 150 | 5 | C100 | F | PJ391 | Very Inv | 1 | 300 |
| | | | | CRP-9I-D | | | | | | N | PJ469 | Very Inv | 1 | 120 |
| | S/E San Gabriel | 69 | MITSUBISHI | CR-9I-D | Electromecánico | ANSI | 200 | 5 | C100 | F | PJ391 | Very Inv | 2 | 800 |
| | | | | CRP-9I-D | | | | | | N | PJ469 | Very Inv | 5 | 520 |
| San Gabriel | C1 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 3,5 | 1000 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 3,5 | 1000 |
| | C2 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 3 | 1000 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 3 | 1000 |
| | C3 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 3 | 1000 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 3 | 1000 |
| | C4 (Cap) | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 3 | 1000 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 3 | 1000 |
| | C5 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 3 | 1000 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 3 | 1000 |
| | Totalizador | 13,8 | MITSUBISHI | CO-8I-D | Electromecánico | ANSI | 600 | 5 | C200 | F | PJ202 | Normal Inv | 7 | 2400 |
| | | | | | | | | | | N | PJ198 | Normal Inv | 3 | 3600 |
| | Alim | 13,8 | SIEMENS | 7RW6000 | Digital | IEC | 13,8/√3 /0, kV | 0,115/√3 kV | TP: 0,6 | 7RW6000 | | | | |
| | S/E El Angel | 69 | MITSUBISHI | CR-9I-D | Electromecánico | ANSI | 200 | 5 | C100 | F | PJ391 | Very Inv | 2 | 1600 |

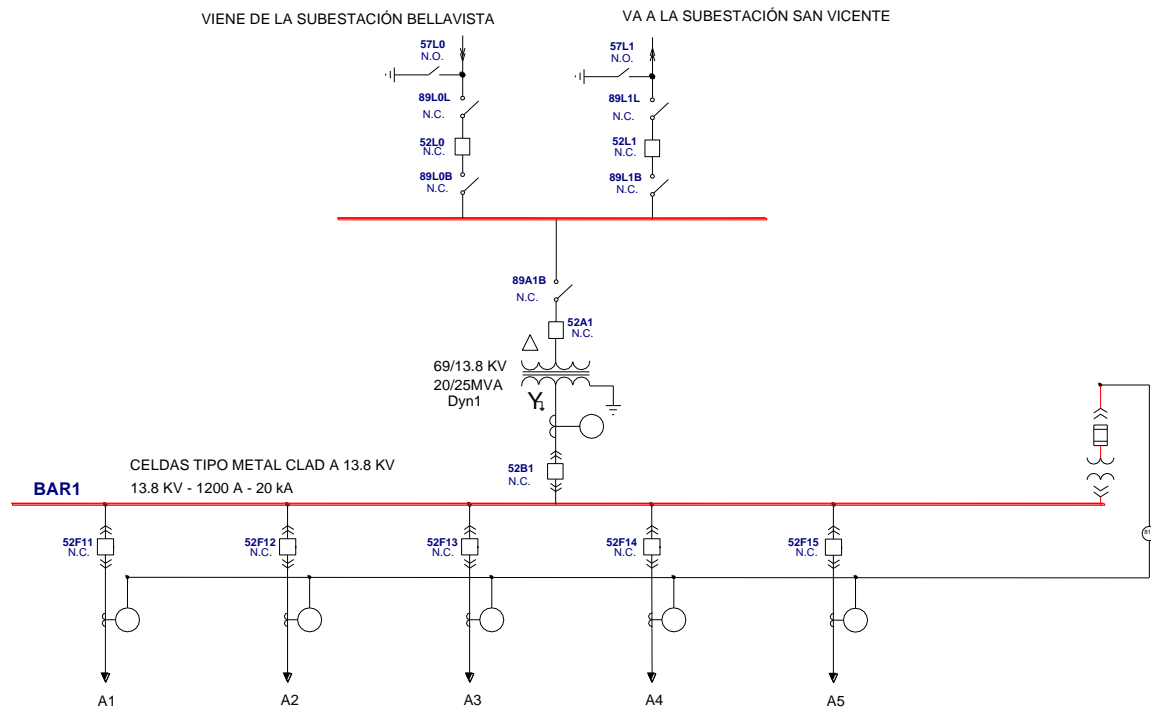
| S/E | Zona | V (kV) | Marca | Tipo | Tecnología | Norma | RTC Protección | | Clase TC | Línea | Modelo | Tipo curva | Dial | Inst (A) |
|------------------|-------------------|--------|------------------|-----------|-----------------|-------|----------------|-------------|----------|---------|---------|------------|------|----------|
| | S/E Trans Tulcan | 69 | MITSUBISHI | CRP-9I-D | Electromecánico | ANSI | 300 | 5 | C100 | N | PJ469 | Very Inv | 2 | 560 |
| | | | | CR-9I-D | | | | | | F | PJ389 | Very Inv | 2 | 600 |
| | | | | CRP-9I-D | | | | | | N | PJ469 | Very Inv | 3 | 480 |
| Trans Bellavista | S/E Ant Alpachaca | 34,5 | SIEMENS | SIPROTEC | Digital | IEC | 600 | 5 | | F | 7SJ62 | Normal Inv | 0,07 | 3600 |
| | | | | | | | | | | N | 7SJ62 | Normal Inv | 0,16 | 0 |
| | S/E San Vicente | 69 | SIEMENS | SIPROTEC | Digital | IEC | 600 | 5 | | F | 7SJ62 | Normal Inv | 0,13 | 2148 |
| | | | | | | | | | | N | 7SJ62 | Normal Inv | 0,2 | 1800 |
| | S/E San Agustin | 69 | SIEMENS | SIPROTEC | Digital | IEC | 600 | 5 | | F | 7SJ62 | Normal Inv | 0,13 | 3720 |
| | | | | | | | | | | N | 7SJ62 | Normal Inv | 0,23 | 3600 |
| | S/E Cotacachi | 69 | SIEMENS | SIPROTEC | Digital | IEC | 600 | 5 | | F | 7SJ62 | Normal Inv | 0,22 | 3000 |
| | | | | | | | | | | N | 7SJ62 | Normal Inv | 0,2 | 3000 |
| | A UNACEM | 69 | SIEMENS | SIPROTEC | Digital | IEC | 600 | 5 | | F | 7SJ62 | Normal Inv | 0,15 | 2460 |
| | | | | | | | | | | N | 7SJ62 | Normal Inv | 0,27 | 2460 |
| El Rosal | C1-Trafo | 13,8 | SCHNEIDER | SEPAM | Digital | IEC | 150 | 5 | | F | S40 | Ext Inv | 0,13 | 0 |
| | | | | | | | | | | N | S40 | Ext Inv | 0,13 | 0 |
| | C. San Miguel | 34,5 | ABB | DPU 2000R | Digital | IEC | 100 | 5 | T10 | F | REF 544 | Very Inv | 2 | 600 |
| | | | | | | | | | | N | REF 544 | Very Inv | 2 | 600 |
| | C1 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 2 | 1000 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 3 | 1000 |
| | C2 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 2 | 1000 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 3 | 1000 |
| | C3 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 2 | 1000 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 3 | 1000 |
| Tulcan | C4 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 3 | 1500 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 3 | 1000 |
| | C5 | 13,8 | MITSUBISHI | CO-9I-D | Electromecánico | ANSI | 250 | 5 | C100 | F | PJ213 | Very Inv | 2 | 1500 |
| | | | | | | | | | | N | PJ210 | Very Inv | 3 | 1000 |
| | Totalizador | 13,8 | MITSUBISHI | CO-8I-D | Electromecánico | ANSI | 600 | 5 | C200 | F | PJ202 | Normal Inv | 0,5 | 3600 |
| | | | | | | | | | | N | PJ198 | Normal Inv | 1 | 3000 |
| | Alim | 13,8 | SIEMENS | 7RW6000 | Digital | IEC | 13,8/√3 /0, kV | 0,115/√3 kV | TP: 0,6 | 7RW6000 | | | | |
| | S/E El Rosal | 69 | ABB | REF630 | Numérico | IEC | 200 | 5 | C100 | F | REF 630 | Very Inv | 0,7 | 700 |
| | | | | | | | | | | N | REF 630 | Very Inv | 0,6 | 800 |
| Trans Tulcan | S/E San Gabriel | 69 | General Electric | IFC51 | Digital | ANSI | 500 | 5 | | F | IAC51 | Normal Inv | 1,5 | 800 |
| | | | | IFC53 | | | | | | N | IAC53 | Very Inv | 4 | 700 |
| | S/E Tulcan | 69 | General Electric | IFC51 | Digital | ANSI | 500 | 5 | | F | IAC51 | Normal Inv | 2,5 | 1150 |
| | | | | IFC53 | | | | | | N | IAC53 | Very Inv | 4 | 1400 |
| UNACEM | General | 13,8 | ABB | SPAJ | Numérico | IEC | 300 | 1 | 5P | F | | | | 0 |
| | General | 13,8 | ABB | SPAF | Numérico | IEC | 69/√3 kV | 0,1/√3 kV | | N | | | | 0 |

Anexo H

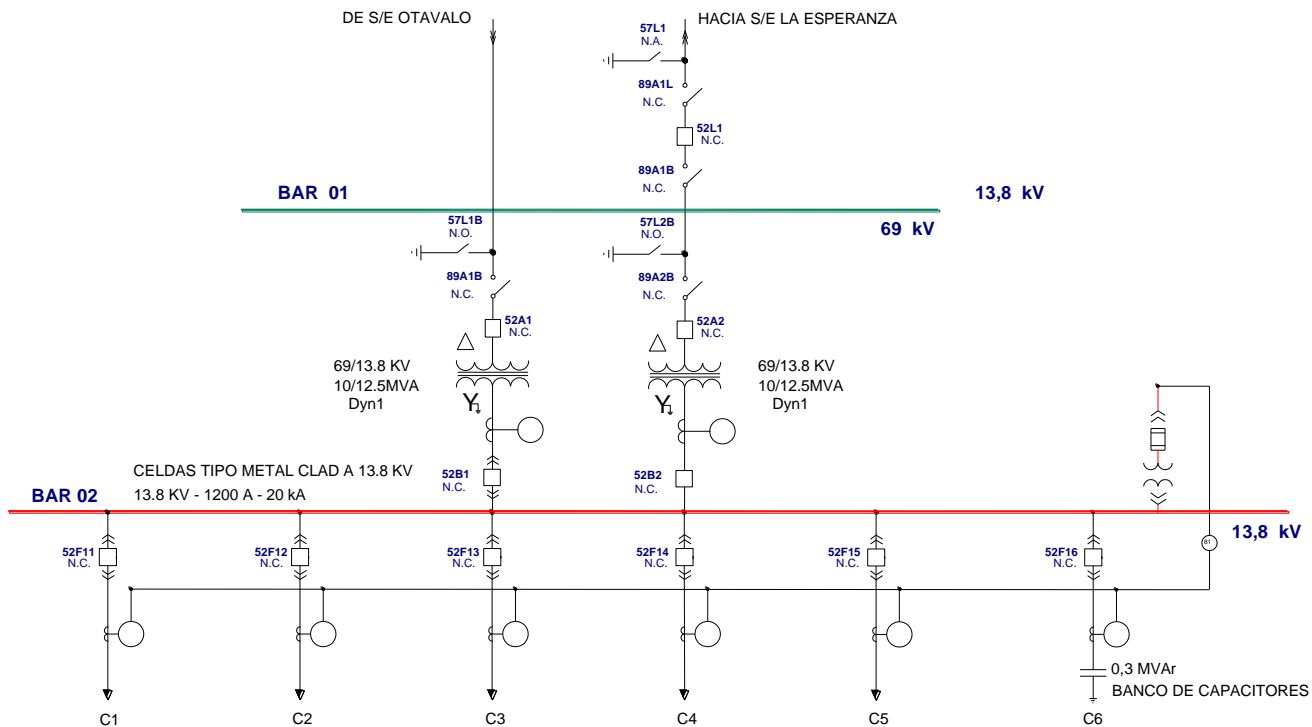
Diagramas unifilares de las subestaciones de distribución de la empresa eléctrica Emelnorte



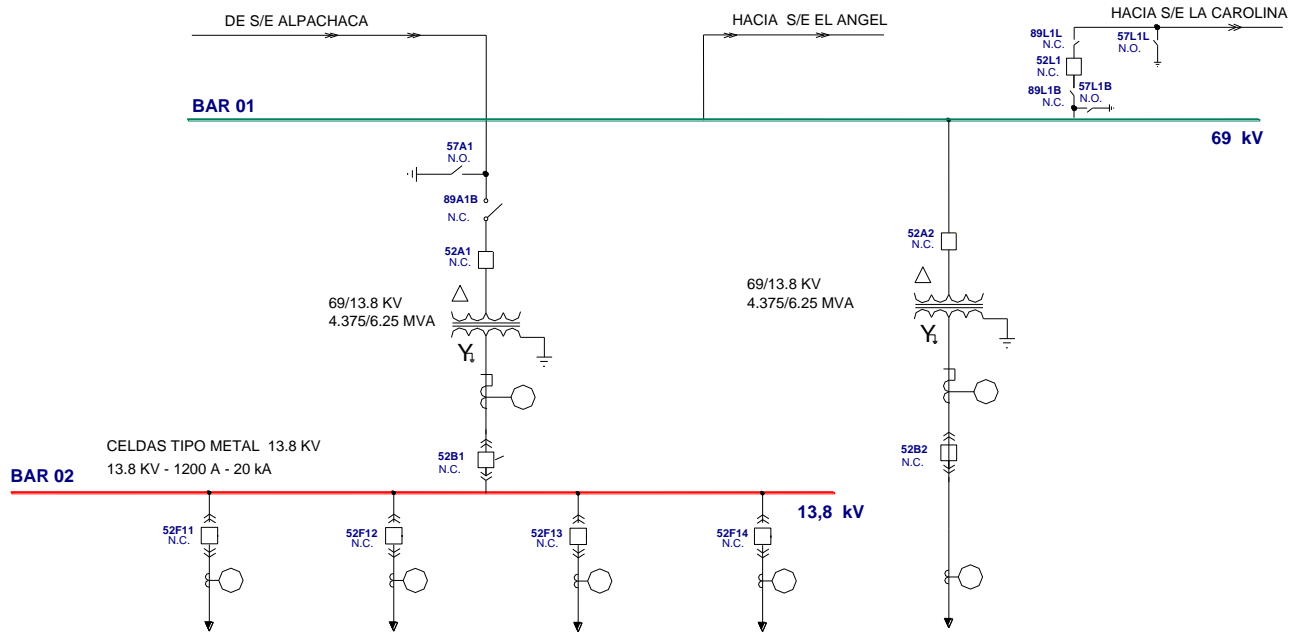
S/E ATUNTAQUI



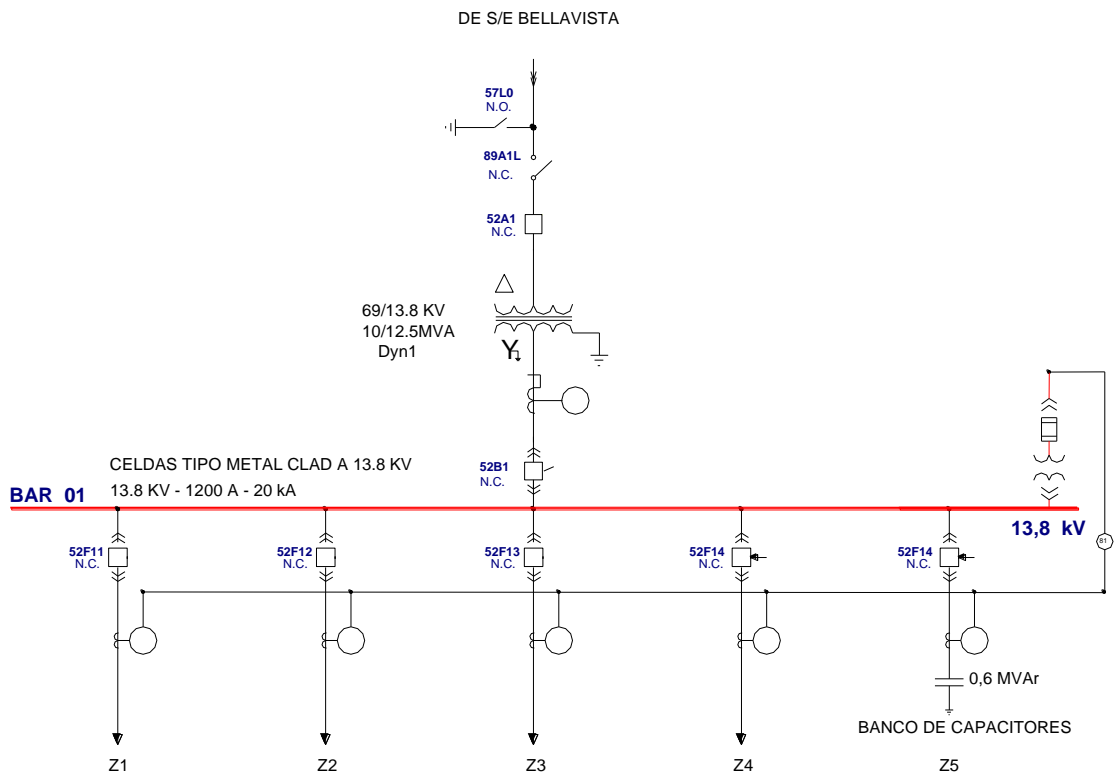
S/E CAYAMBE



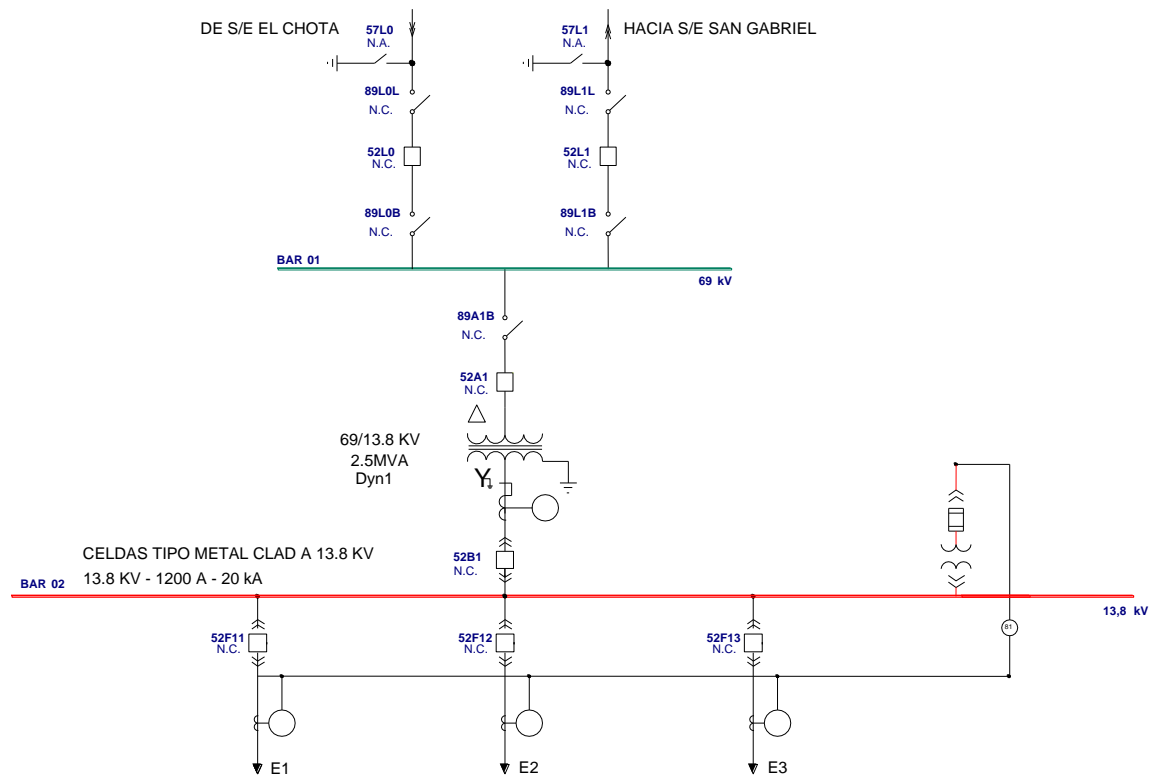
S/E CHOTA



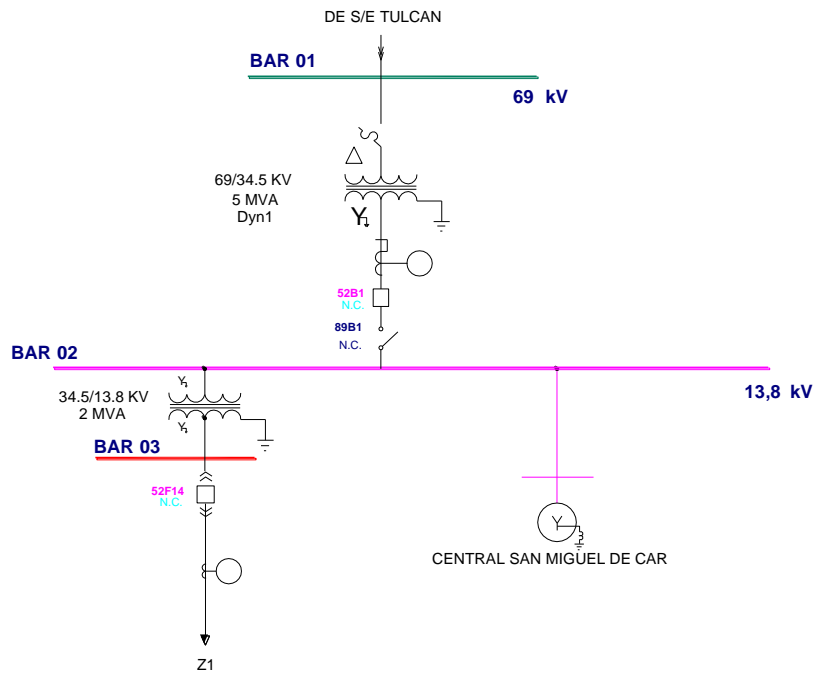
S/E COTACACHI



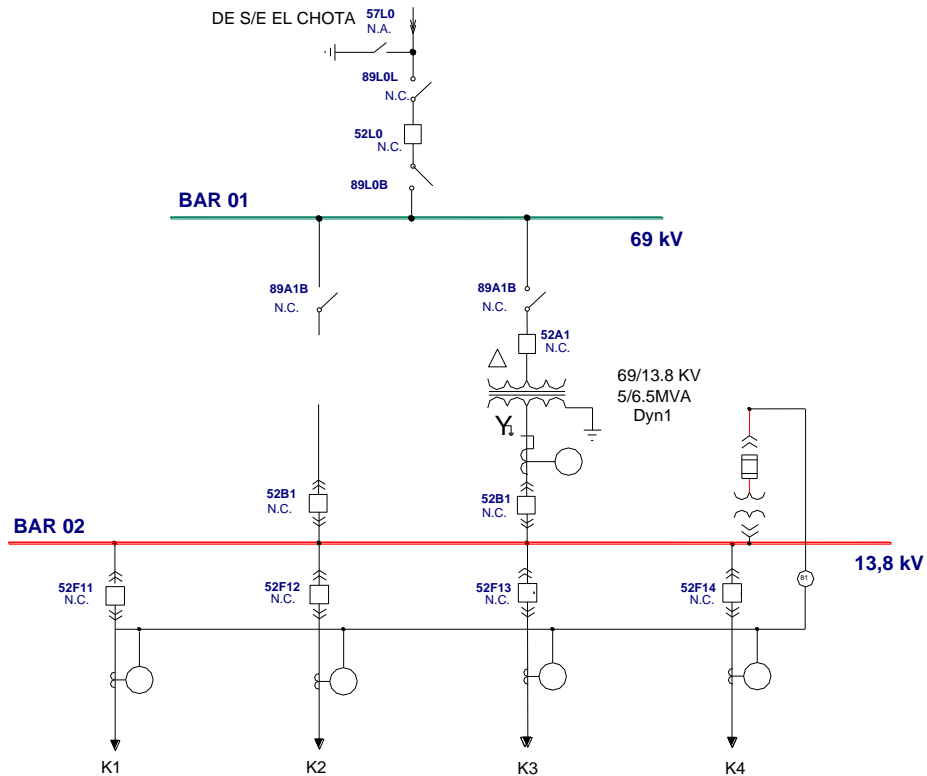
S/E EL ANGEL



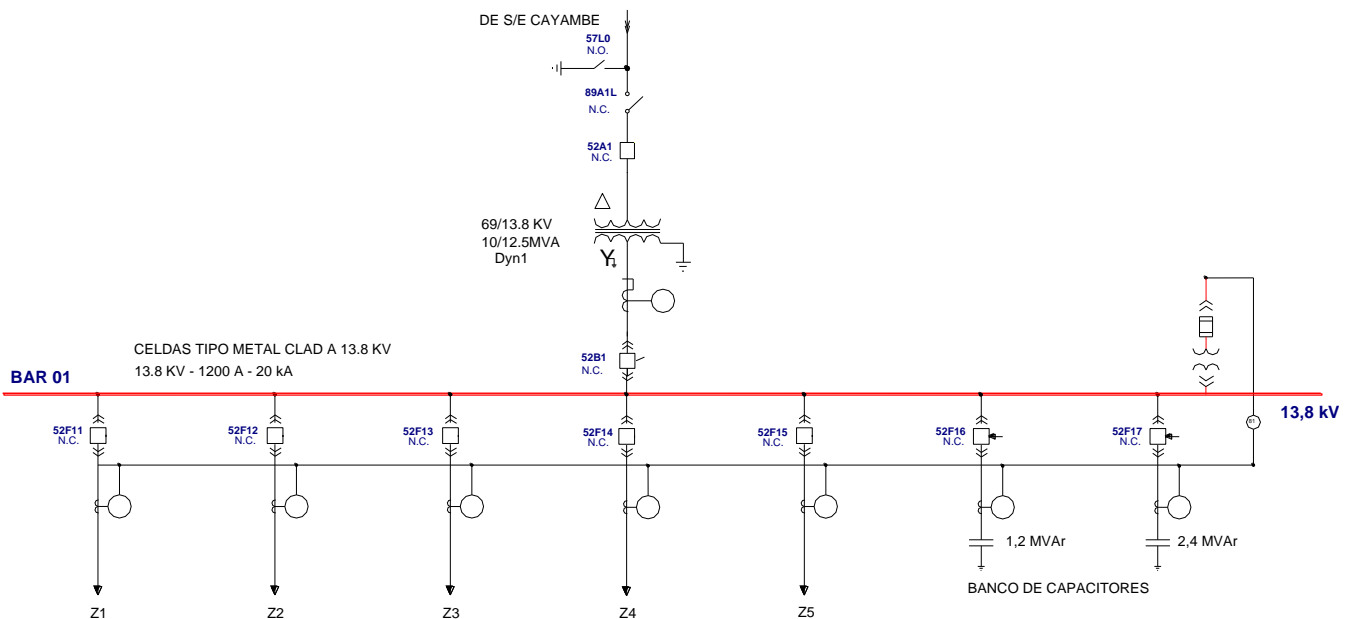
S/E EL ROSAL



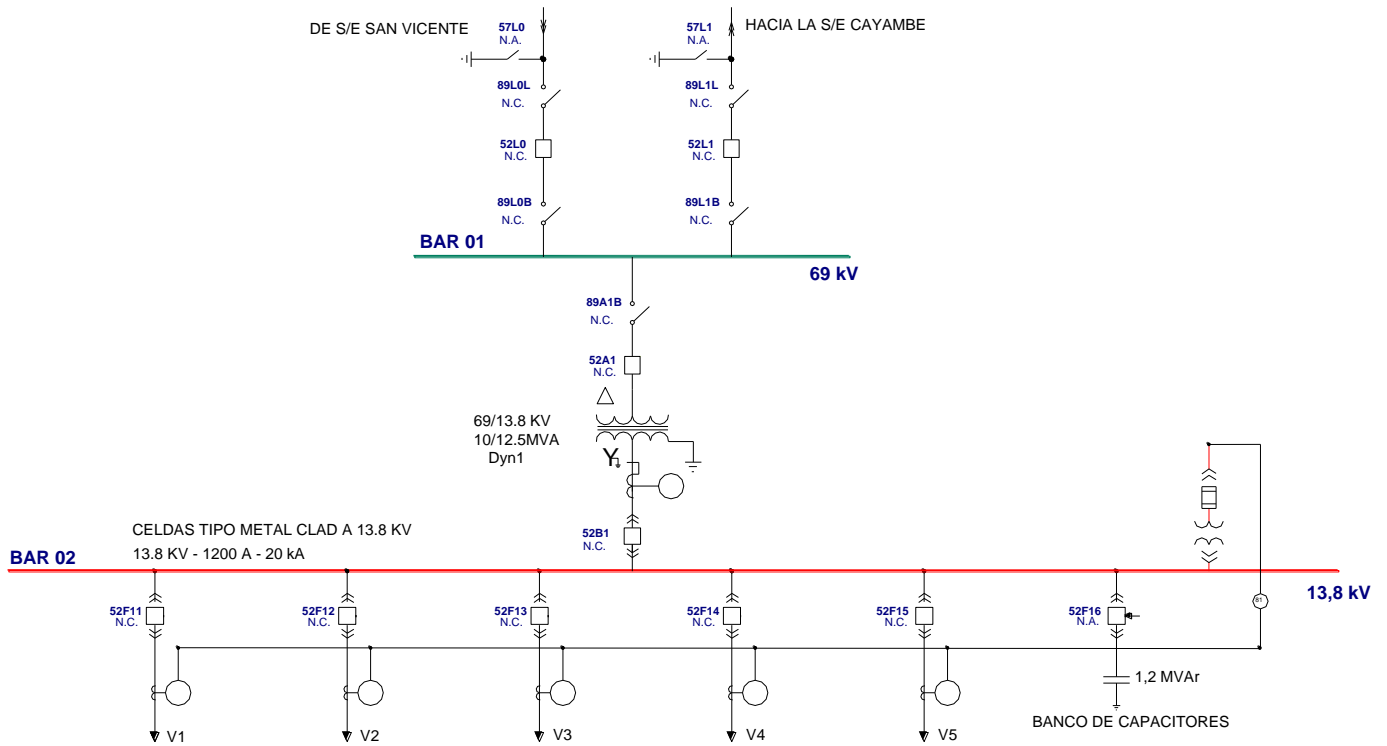
S/E LACAROLINA



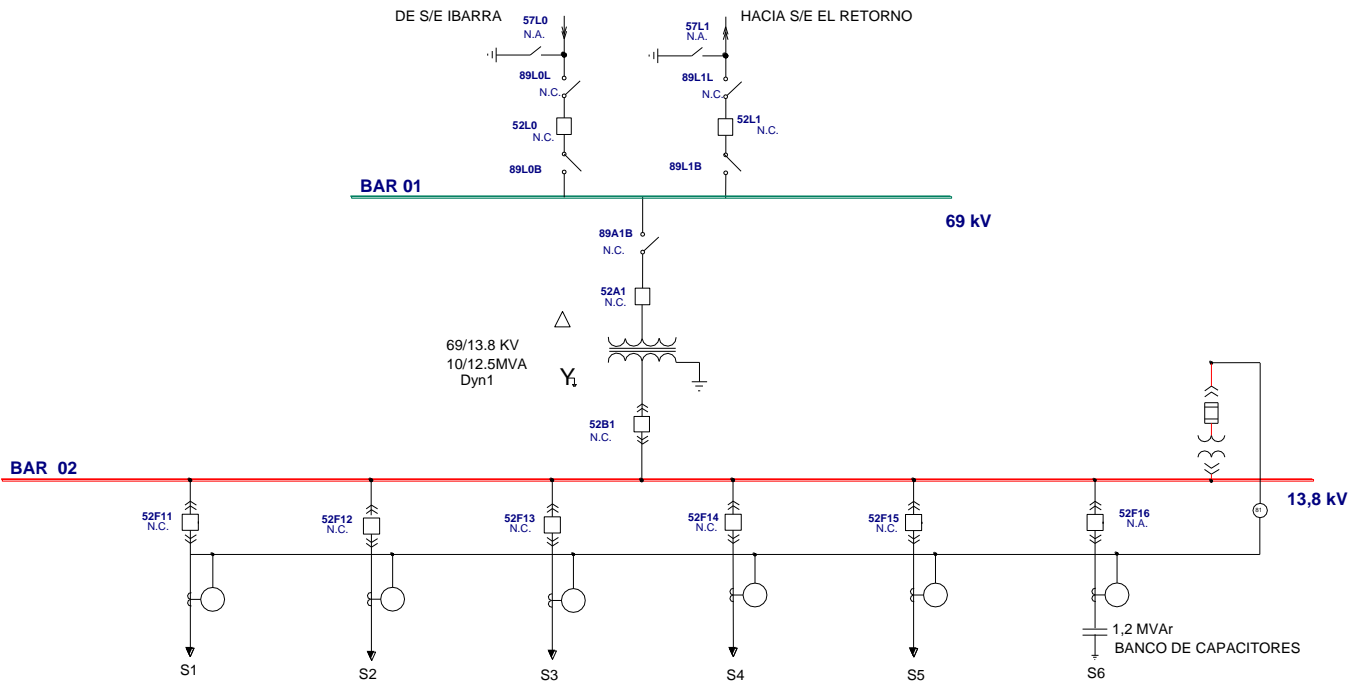
S/E LA ESPERANZA



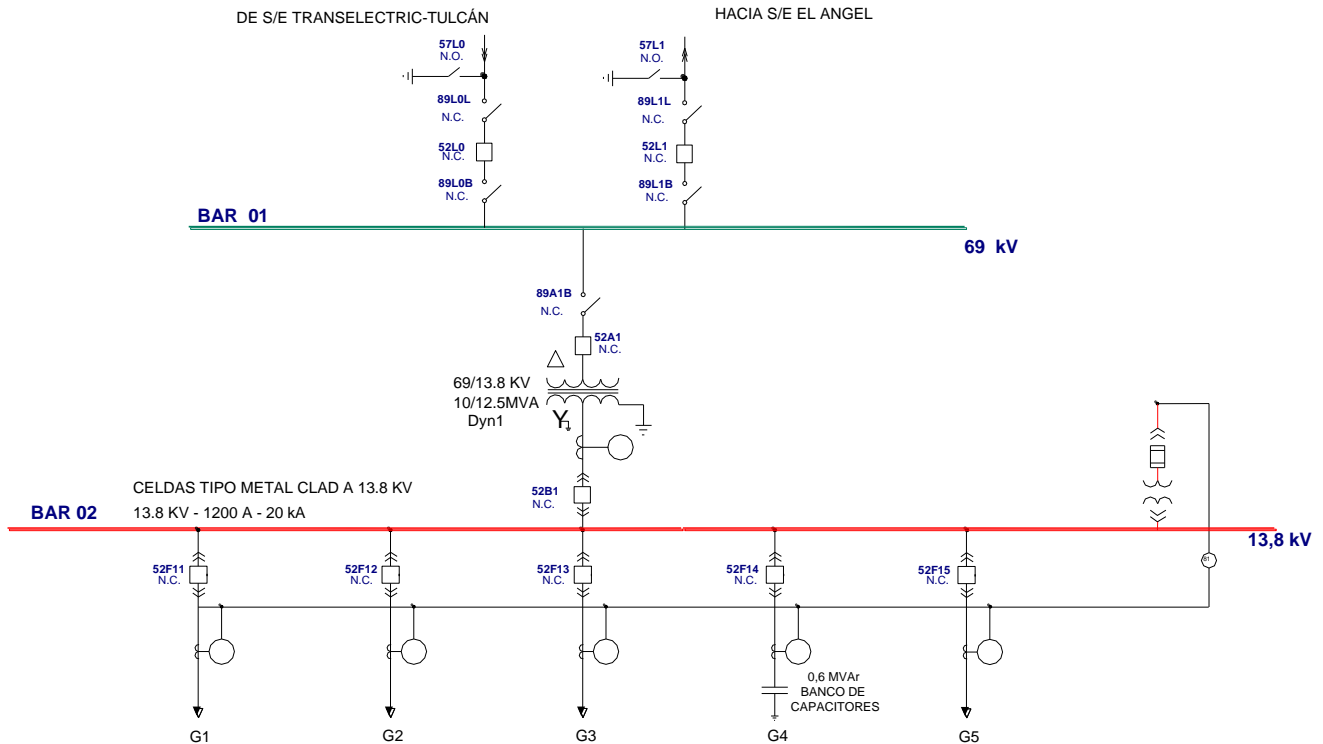
S/E OTAVALO



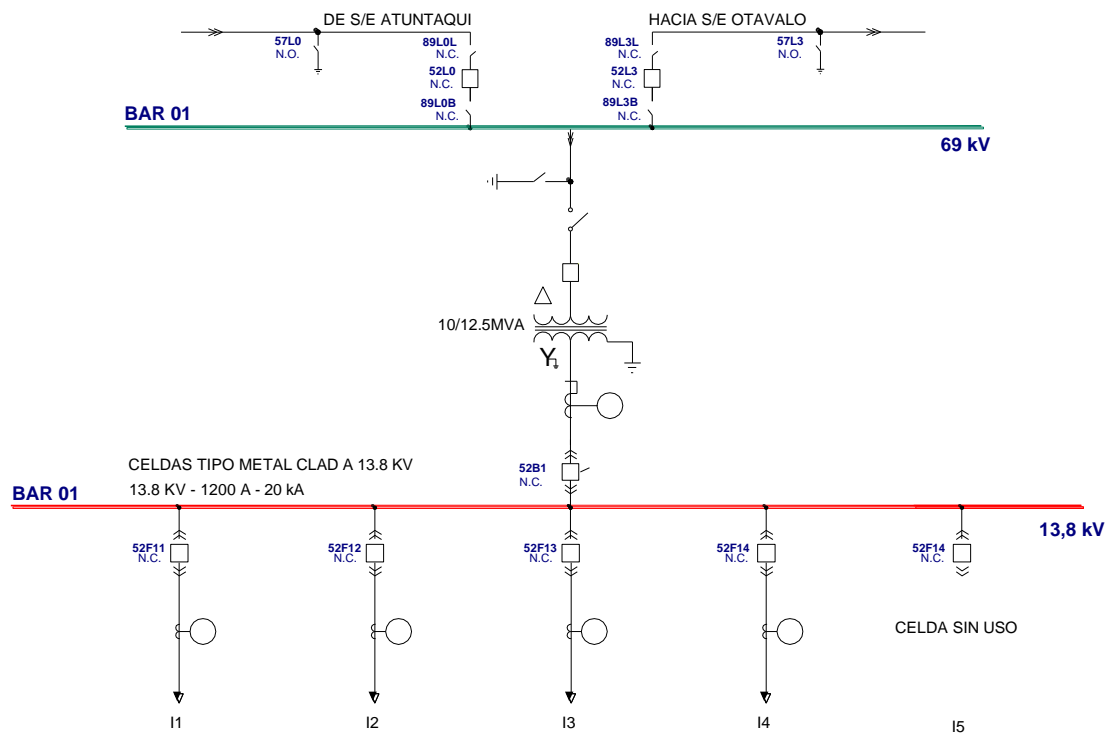
S/E SAN AGUSTÍN



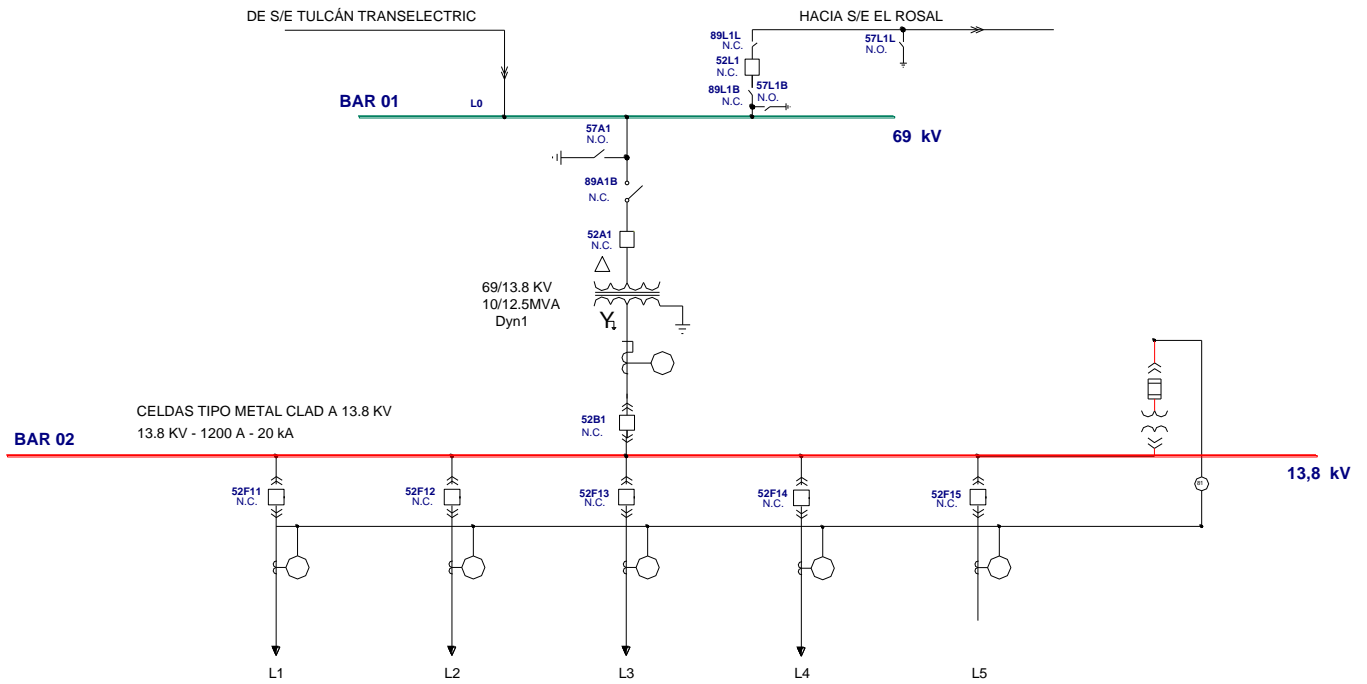
S/E SAN GABRIEL



S/E SAN VICENTE



S/E TULCÁN



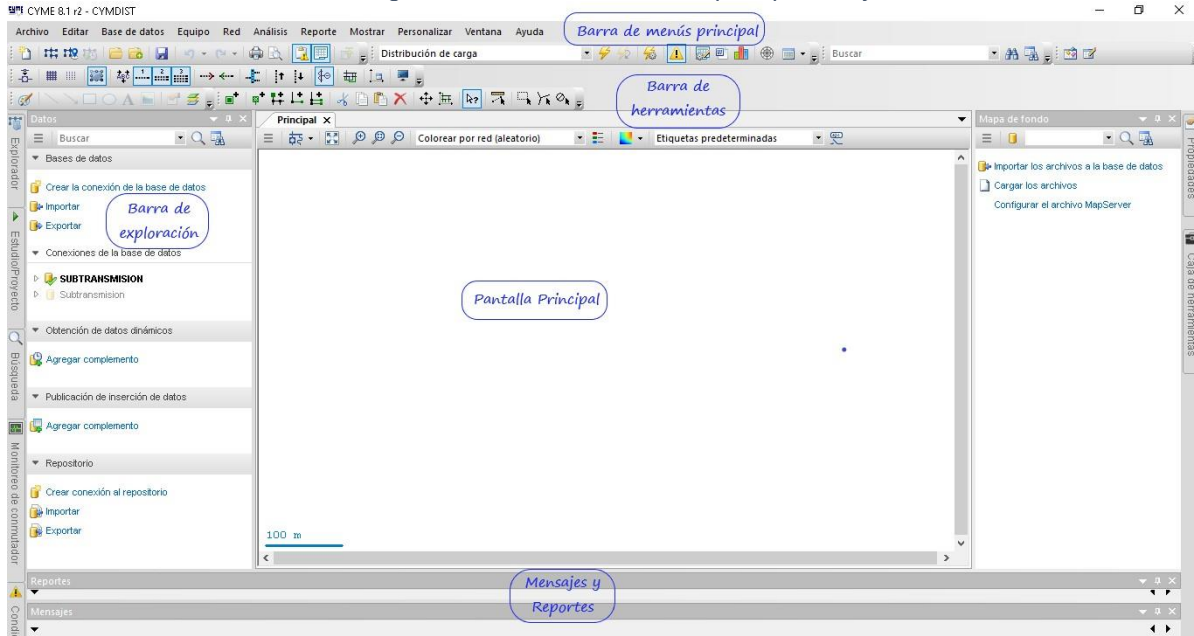
Anexo I

Manual de procedimientos para el manejo de Cymdist

1. Ventana principal de CYMDIST

Cymdist ofrece una interfaz gráfica interactiva con herramientas e iconos que permiten dibujar diagramas de una línea y definir las características de equipos o componentes de una red. En la figura 53 se presenta la ventana principal y sus partes:

Figura 53: Partes de la ventana principal de Cymdist



1.1 Barra de menús principal

Se encuentra en la parte superior de la ventana principal y permite acceder a todos los comandos descritos en la tabla 42:

Tabla 42: Comandos disponibles en la barra de menús principal

| | |
|----------------------|---|
| Archivo | Guarda, crea o abre un estudio y también permite regular el funcionamiento general del programa, como la unidad de medida, frecuencia, etc. |
| Editar | Buscar y modifica los tramos de líneas y los parámetros de los equipos. Se encuentran todas las herramientas de edición grafica |
| Base de datos | Administra la base de datos; permite crear, eliminar o actualizar la base de datos. |
| Equipo | Administra la base de datos permitiendo crear, modificar o eliminar un equipo de la red |
| Análisis | Permite realizar los análisis disponibles en la licencia de Cymdist. |
| Reporte | Brinda un informe de los cálculos realizados en un análisis y pueden basarse en datos de simulación o en parámetros de equipos. |
| Mostrar | Establece los comandos e iconos que el usuario necesita que se visualicen en la pantalla. |
| Ayuda | Brinda un manual electrónico sobre el uso del programa |

1.2 Barra de herramientas

Da acceso a las principales funciones de edición, navegación y análisis de Cymdist. Aquí aparecen los comandos más usados en la simulación y se activan al momento de cargar la red al sistema. Los iconos más utilizados se describen en la tabla 44:

Tabla 43: Comandos de la barra de herramientas

| NOMBRE | SÍMBOLO | FUNCIÓN |
|-------------------------|---|--|
| Nuevo estudio |  | Crea un nuevo estudio en blanco |
| Seleccionar redes |  | Muestra las redes que se desea cargar. |
| Abrir estudio |  | Abre un estudio creado anteriormente |
| Guardar estudio |  | Guarda los cambios realizados en el estudio |
| Agregar vista imbricada |  | Crea una vista imbricada |
| Agregar fuente |  | Crea una fuente |
| Agregar red |  | Crear una nueva red |
| Agregar tramo |  | Crea un circuito simple |
| Agregar circuito doble |  | Crear un circuito doble |
| Ejecutar simulación |  | Ejecuta la simulación requerida. |
| Regla |  | Calcula la distancia existente entre dos puntos. |

1.3 Pantalla principal

Es el área donde se muestra la red seleccionada. Permite cargar únicamente una sola red; presenta una vista de forma general y para verificar un elemento de cada subestación, se debe ubicar el cursor en el lugar deseado y dar doble clic sobre la vista general, automáticamente se desprenderá una ventana adicional con los equipos que forman la subestación.

1.4 Barra de exploración

Se encuentra la red creada por el usuario y se puede activar o desactivar un equipo, eliminar y modificar los tramos, subestaciones, nodos, entre otros. La tabla 44 detalla las pestañas disponibles en esta barra.

Tabla 44: Comandos de la barra de exploración

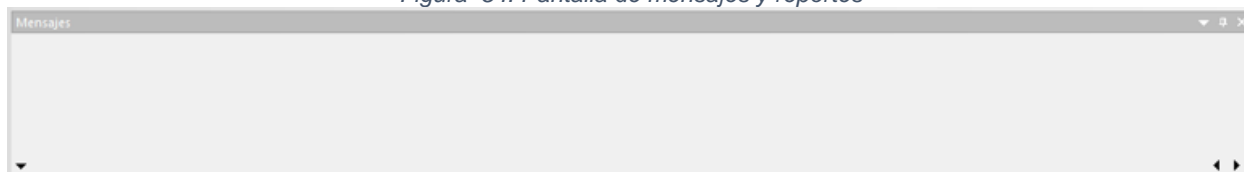
| | |
|-----------------------|--|
| Datos | Permite conectar, importar o exportar una base de datos. |
| Explorador | Muestra un inventario de todas las redes, equipos y nodos creados en la base de datos. |
| Búsqueda | Permite realizar una búsqueda de equipos por su nombre o por su valor. |
| Condiciones anormales | Brinda una lista de colores con las condiciones anormales de la red. |

1.5 Mensajes y Reportes

Se encuentra en la parte inferior de la ventana y se activa cada vez que el usuario realiza una simulación o un estudio. La figura 54 hace referencia a la pantalla de mensajes y reportes.

- **Reportes** muestra el resultado de un análisis
- **Mensajes** indica si existe un error en la simulación o una advertencia.

Figura 54: Pantalla de mensajes y reportes



1.6 Caja de herramientas

Se encuentra situado en la parte derecha de la pantalla principal y se da acceso a todos los equipos y redes que forman parte de un sistema, como se muestra en la figura 55.

Todos estos equipos tienen características eléctricas por Default otorgados por el programa, aunque también se puede acceder a un determinado equipo activándolo en esta ventana.

Figura 55: Ventana barra de herramientas



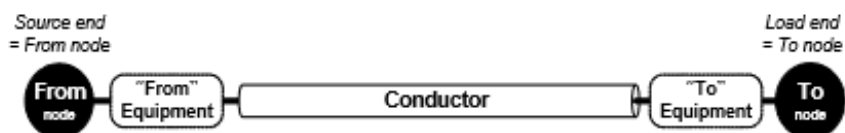
2. Representación en Cymdist

La representación de Cymdist está compuesto por:

- **Bloques de construcción:** como equipos, líneas y cargas donde cada elemento puede ser ajustado individualmente
- **Nodos:** son marcadores circulares que conectan las secciones y alimentadores entre sí, estos no tienen valor eléctrico y no son considerados al momento de realizar un cálculo.

En la figura 56 se observa la forma en la que Cymdist realiza una simulación.

Figura 56: Modelo de representación de Cymdist



2.1 Preferencias

Cymdist permite ajustar los parámetros del sistema como:

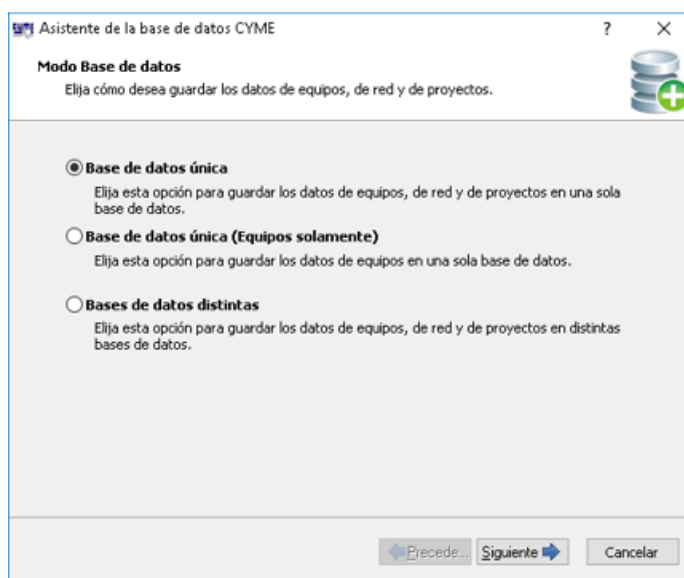
- **Unidades del sistema:** permite establecer el sistema de unidades ya sea el sistema internacional SI o ingles IMP
- **Frecuencia del sistema:** se puede establecer el valor de la frecuencia; 50 o 60Hz

3. Creación de una base de datos

La base de datos permite guardar información de redes o equipos y para crear una nueva base de datos, en la ventana principal de Cymdist dirigirse a la *>Barra de Menús principal*; hacer clic en *>Base de datos* y escoger la opción *>Administrador de la base de datos*.

En esta ventana hacer clic en la pestaña *>Agregar* y escoger como se desea guardar la base de datos, las opciones de presentan en la figura 57. Un sistema de subtransmisión trabaja con bases de datos de equipos y redes por lo que se debe elegir la opción *>Bases de datos distintas*.

Figura 57: Ventana Modo Base de datos



A continuación, elegir el tipo de archivo con el que se guardarán los datos: Microsoft Access, Microsoft SQL Servidor y Oracle.

La opción *>Microsoft Access* es la implementada a nivel nacional por lo que se escoge esta opción y se debe direccionarse a una carpeta vacía donde se guardarán los datos y nombrar a la base de datos (*equipo*). Realizar el mismo procedimiento para la base de datos (*red*).

Una vez creada la base de datos de redes y los equipos se activa un aviso donde se informa que no existe una base de datos similar y pregunta si desea crear una nueva; escoger la opción *>Si*. Aparece la ventana de la figura 58 donde se debe nombrar al sistema que aparecerá en la ventana de Cymdist y hacer clic en el botón *>Terminar*

Figura 58: Ventana de Configuración de la base de datos creada

3.1 Cargar redes a la base de datos

En caso de cargar redes existentes, hacer clic en la opción *>Cargar las redes desde la base de datos*. Aparece una ventana que permite elegir las redes que se desea cargar. En caso de que el estudio sea nuevo hacer clic en la opción *>Crear un nuevo estudio* situado en la pantalla

principal o dirigirse a la *>Barra de herramientas* y escoger la opción *>Nuevo* 

Seguidamente aparece una ventana en blanco y al mismo tiempo se activan las opciones de la Barra de herramientas, así como también la las opciones de *>Caja de herramientas*.

4. Creación de equipos

Para mantener un formato ordenado se recomienda crear los equipos antes de realizar la modelación para que, al dibujar el diagrama unifilar de cada subestación se asigne el equipo con las características eléctricas propias. También Cymdist permite agregar equipos por Default con valores de características eléctricas promedios.

4.1 Subestaciones

La subestación eléctrica está compuesta por equipos como disyuntores, seccionadores, condensadores, barras, relés de sobrecorriente y transformadores. Debido al funcionamiento propio de la subestación es un punto de conexión entre redes.

Para crear una subestación dirigirse a la >Barra de herramientas y hacer clic en la pestaña >Agregar red. Posteriormente hacer doble clic izquierdo en la pantalla principal en el lugar donde se desea crear la subestación. Aparece la ventana de la figura 59

Figura 59: Ventana para Agregar red

Los parámetros de la ventana de Propiedades de red se describen en la tabla 45.

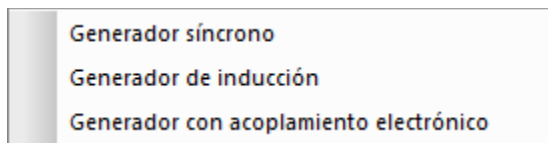
Tabla 45: Parámetros para la creación de una subestación eléctrica

| | |
|-------------------------|--|
| Nombre | Es la identificación de la subestación y no debe contener espacios |
| Tipo de red | Escoger la opción <i>Subestación</i> |
| Medio Ambiente | Establece el factor ambiental en los cálculos. |
| Color | Elegir el color con el que se representará a cada subestación |
| Área | Es un segundo filtro de identificación |
| Nivel de tensión | Es el tercer filtro de identificación |
| Región | Ultimo filtro de identificación. |
| Despliegue | Elegir la opción mostrar dentro de una vista imbricada. |

4.2 Generador síncrono

Para crear un nuevo equipo dirigirse a la >Barra de menús principal pestaña >Equipo escoger la opción >Generador. Cymdist ofrece 3 opciones en cuanto a tipo de generadores, como se aprecia en la figura 60.

Figura 60: Tipos de generadores en Cymdist




Elegir el tipo deseado, en este caso se escogió la opción >Generador síncrono. Aparece la ventana de la figura 61. En esta ventana hacer clic en la pestaña  situada en la parte izquierda superior de la ventana y nombrar al equipo.

Figura 61: Ventana Generador síncrono

Los parámetros de la ventana de >Generador síncrono se describen en la tabla 46.

Tabla 46: Parámetros para la creación de un generador síncrono

| | |
|--|---|
| Potencia nominal | El valor en kVA del equipo. |
| Tensión nominal | Voltaje en kV |
| Potencia activa nominal | El valor en kW del equipo |
| Factor de potencia | El valor puede ser positivo o negativo. El primero indica que el generador genera potencia activa y reactiva. |
| Numero de polos | |
| Potencia reactiva máxima y mínima | Valores de placa |
| Impedancias del generador | Valor de las impedancias en regímenes permanente, transitorio y subtransitorio en p.u. |
| Estimar | Permite realizar una estimación de datos con los datos generales del sistema. |

4.3 Transformadores con dos devanados


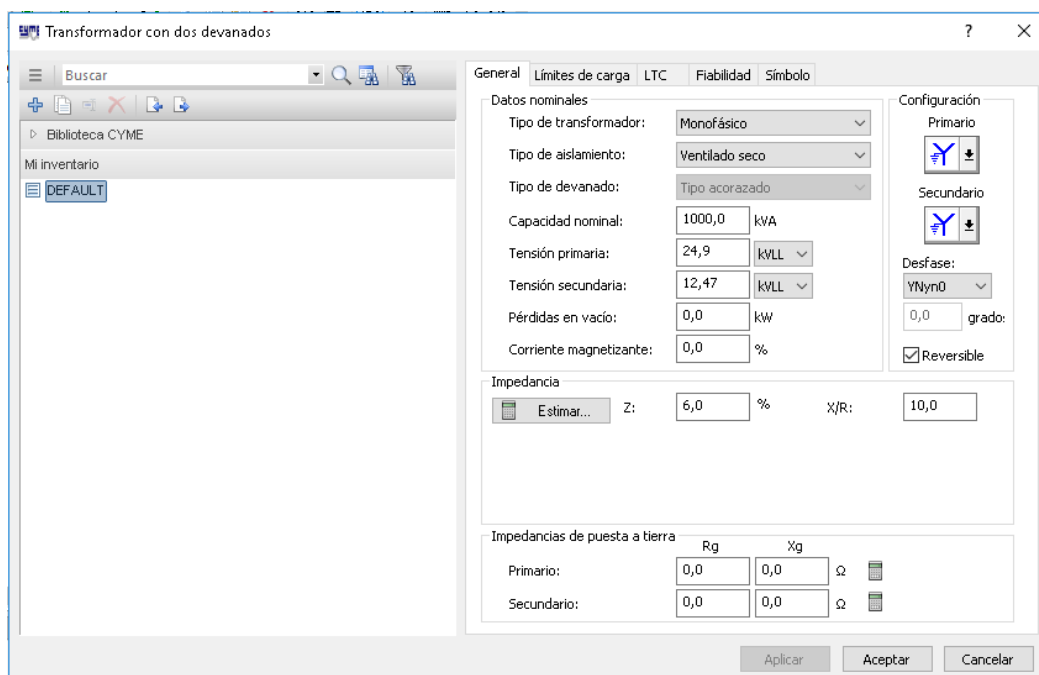
Para crear un nuevo equipo dirigirse a la >Barra de menús principal, pestaña >Equipo escoger el equipo; >Transformador y elegir el tipo. Aparece la ventana de la figura 62. En esta ventana dar clic en la opción  para agregar un nuevo equipo y nombrarlo.

Figura 62: Ventana principal del transformador con dos devanados



Los parámetros de la ventana de >Transformadores con dos devanados se describen en la tabla 47.

Tabla 47: Parámetros para la creación de un transformador con dos devanados

| | |
|---------------------------------|---|
| Capacidad nominal | Es el total de kVA para las 3 fases |
| Tensión primaria | Es el valor de kV a línea |
| Tensión secundaria | Es el valor de kV de línea a tierra * $\sqrt{3}$. |
| Perdidas en vacío | Perdidas en kW del transformador |
| Impedancias de secuencia | Ingresar el valor de impedancias de secuencia positiva, negativa y cero en porcentaje sobre la base kVA |

4.4 Transformador con tres devanados

Para crear un nuevo equipo realizar el mismo procedimiento que un transformador con dos devanados y al momento de elegir el tipo, escoger la opción >Transformador con tres devanados. Aparece la ventana de la figura 63.

Figura 63: Ventana de Transformador con tres devanados

Transformador con tres devanados

Buscar

Biblioteca CYME

Mi inventario

DEFAULT

General Límites de carga Primer LTC Segundo LTC Fiabilidad Símbolo

Datos nominales

| | Primario | Secundario | Terciario | |
|-------------------------|----------|------------|-----------|------|
| Capacidad nominal: | 1000,0 | 1000,0 | 1000,0 | kVA |
| Tensión nominal: | 69,0 | 13,8 | 13,8 | kVLL |
| Pérdidas en vacío: | 0,0 | | | kW |
| Corriente magnetizante: | 0,0 | | | % |

Configuración

Conexión:

Desfase: **Prim-Sec** YNyn0 **Prim-Ter** YNd1 **deg.**

Impedancias de secuencia

| | Prim-Sec | Prim-Ter | Sec-Ter | |
|--------|----------|----------|---------|---|
| Z1: | 5,8 | 10,1 | 3,5 | % |
| X1/R1: | 35,0 | 35,0 | 35,0 | |
| Z0: | 5,8 | 10,1 | 3,5 | % |
| X0/R0: | 35,0 | 35,0 | 35,0 | |

Impedancias de puesta a tierra

| Rg: | 0,0 | 0,0 | 0,0 | Ω |
|-----|-----|-----|-----|---|
| Xg: | 0,0 | 0,0 | 0,0 | Ω |

Aplicar Aceptar Cancelar

Los parámetros de la ventana de *>Transformadores con dos devanados* se describen en la tabla 48.

Tabla 48: Parámetros para la creación de un transformador con tres devanados

| | |
|--|--|
| Capacidad nominal | Es el total de kVA para las 3 fases |
| Tensión primaria | Es el valor de kV a línea |
| Tensión secundaria | Es el valor de kV de línea a tierra * $\sqrt{3}$. |
| Perdidas en vacío | Perdidas en kW del transformador |
| Conexión | Existen 3 tipos de conexión: Y, D, GY |
| Impedancias de secuencia (Z1, Z0) | Valor de impedancias positiva, cero en porcentaje |
| Impedancias de secuencia (X1/R1, X0/R0) | Establecer el valor de la relación de la reactancia con la resistencia. |
| Impedancias de puesta a tierra | Valor de impedancias para la conexión a tierra del primario, secundario y terciario. |

4.5 Conductor

Para crear un nuevo conductor dirigirse a la *>Barra de menús principal* pestaña *>Equipo*, escoger la opción *>Conductor*. La ventana de Conductor se presenta en la figura 64.

Figura 64: Ventana de Conductor

Los parámetros de la ventana de >Conductor se describen en la tabla 49.

Tabla 49: Parámetros para la creación de un conductor

| | |
|--------------------------------|---|
| Palabra código | Identificador del conductor |
| Tipo | Material del conductor. Aluminio o aleaciones |
| Tamaño del conductor | Valor en kcmil del tamaño, normalmente se encuentra en los catálogos de conductores |
| Diámetro externo | Valor en cm del conductor |
| Numero de alambres | Numero de alambres |
| RMG | Radio Medio Geométrico. |
| Resistencia a 25º y 50º | Valores de la resistencia en dos tipos de temperatura. |

4.6 Seccionador

Para crear un nuevo equipo dirigirse a la >Barra de menús principal, pestaña >Equipo y elegir >Seccionador. Aparece la ventana de la figura 65.

Figura 65: Ventana de Seccionador

4.7 Condensadores shunt

Para crear un nuevo equipo, dirigirse a la >Barra de menús principal en la pestaña >Equipo escoger la opción >Condensador/Reactancia Shunt; aparece la ventana de la figura 66.

Figura 66: Ventana de Condensador shunt

Los parámetros de la ventana de >Condensador shunt se describen en la tabla 50.

Tabla 50: Parámetros para la creación de un condensador tipo shunt

| | |
|--------------------------------------|---|
| Tipo de baterías | Elegir si el equipo es monofásico o trifásico |
| Potencia nominal | Potencia en kVAr total del equipo. |
| Tensión nominal | Voltaje nominal de operación |
| Perdidas | Valor de las pérdidas del equipo |
| Valor nominal de interrupción | Corriente de trabajo del equipo |
| Costos | Valor económico del equipo |

4.8 Relé de sobrecorriente

Permiten conectar o desconectar secciones y para crear un nuevo equipo hacer clic derecho sobre el disyuntor. En la opción >Editar, elegir >Agregar relé de sobrecorriente. Aparece la ventana de a figura 67.

Figura 67: Ventana de relé de sobrecorriente

Los parámetros de la ventana de >relé de sobrecorriente se describen en la tabla 51.

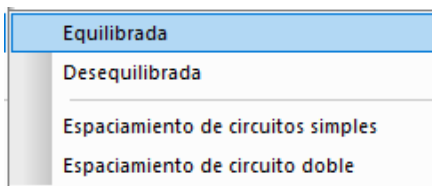
Tabla 51: Parámetros eléctricos para la creación de un relé

| | |
|---------------------------|---|
| Numero | Se puede numerar al equipo o Cymdist brinda uno por Default |
| Estado | Indicar si el equipo se encuentra activo o inactivo |
| Texto del símbolo | Identificador del equipo si es para fase o para neutro |
| Tipo de protección | Protección a fase o neutro |
| Tipo | Elegir el tipo, electromecánico o electrónico |
| Fabricante | Escoger el fabricante |
| Modelo | Modelo del fabricante |
| Ajustes TCC | Identifica la configuración de TCC para la base de datos |

5. Asignación de espaciamiento entre circuitos

Para crear un espaciamiento nuevo dirigirse a la *>Barra de menús principal* en la pestaña *>Equipo* escoger la opción *>Línea aérea* y elegir el tipo de espaciamiento. La figura 68 muestra los tipos de espaciamientos disponibles en Cymdist.

Figura 68: Tipos de espaciamientos entre conductores




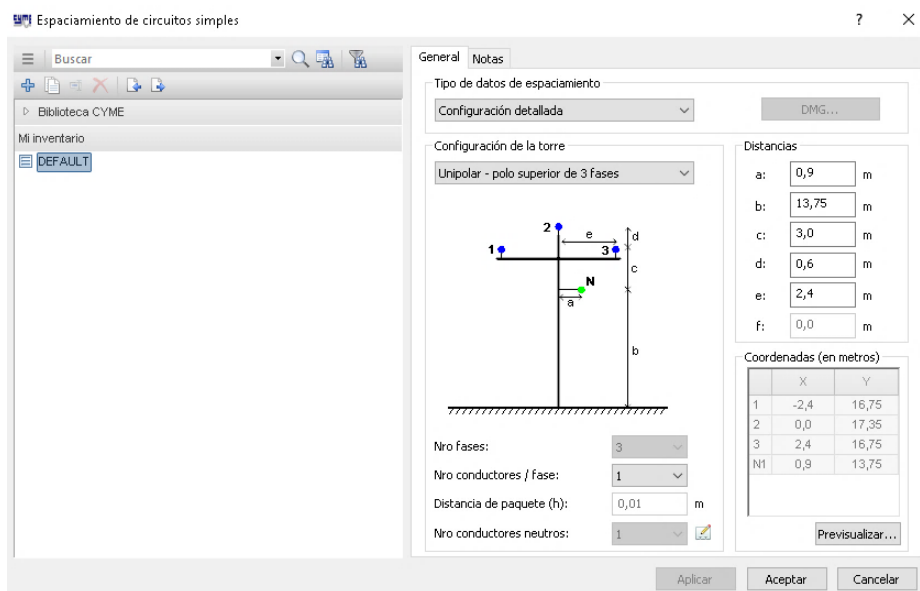
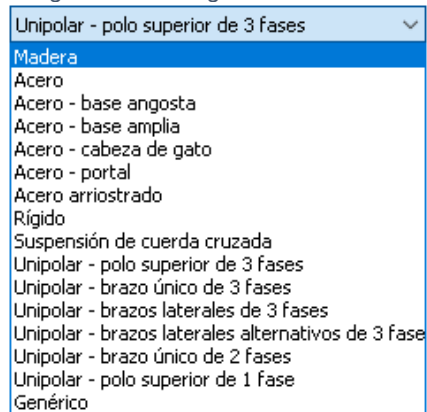
En la ventana de *>Espaciamiento de circuitos simples* presentado en la Figura 69 agregar un nuevo espaciamiento en la pestaña  y asignar el nombre del conductor.

Figura 69: Ventana principal de Espaciamiento de circuitos simples



En la pestaña General en la opción *>Tipo de datos de espaciamiento* elegir la opción *>Configuración detallada* y en la opción *>Configuración de la torre* elegir el tipo, opciones detalladas en la figura 70.

Figura 70: Configuración de torres.



La opción >Genérico permite modelar el espaciamiento de conductores en una estructura de soporte a través de coordenadas, al elegir esta opción, se activa la ventana de coordenadas X, Y de la figura 71.

Figura 71: Ventana de coordenadas

| | X | Y |
|------------------|-------|-------|
| 1 | -2,43 | 14,02 |
| 2 | -2,43 | 10,98 |
| 3 | 2,43 | 12,5 |
| N1 | 0,0 | 16,76 |
| | | |
| Previsualizar... | | |

Las coordenadas son datos que tomados desde un eje de referencia en la estructura de soporte. se puede tomar como punto 0 el centro de la torre.

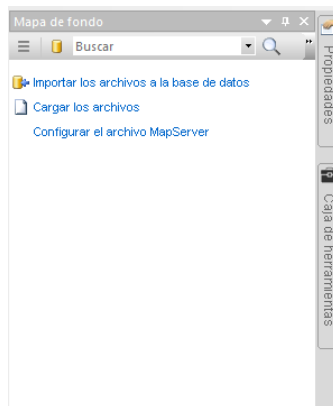
Los datos de numero de fase, número de conductores por fase y número de conductores neutro son datos de la línea. Adicionalmente permite tener una vista previa del espaciamiento del conductor dando clic en la opción >Previsualizar. El proceso para crear espaciamientos de circuitos dobles es el mismo que se utiliza para circuitos simples.

6. Cargar archivos

Para cargar los puntos activar la base de datos (*Subtransmisión*) y en la pantalla principal dar clic en la opción >Crear un estudio nuevo o dirigirse a la >Barra de Herramientas y seleccionar la opción >Nuevo; aparece una ventana en blanco y automáticamente se activan los comandos de la barra de herramientas.

Activar la barra > *Mapa de fondo* de la figura 72 situada en la parte derecha de la pantalla principal. En esta ventana se encuentran opciones que permiten importar archivos a la base de datos, cargar archivos y configurar el archivo Map Server.

Figura 72: Barra de Mapa de fondo

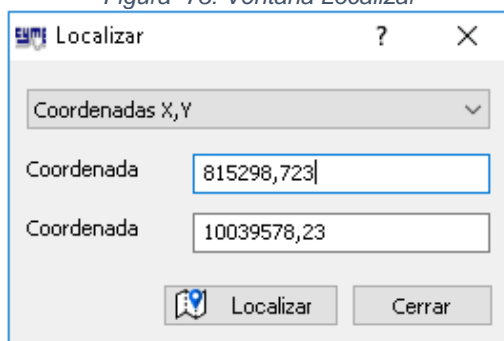


Escoger la opción > *Cargar archivos* y direccionarse a la carpeta donde se encuentran los archivos de las torres y los tramos.

7. Coordenadas


Dirigirse a la > *Barra menús principal*, en la pestaña > *Mostrar*; opción > *Zoom*; elegir la pestaña > *Localizar* y escribir las coordenadas en la ventana del mismo nombre, tal como como se aprecia en la figura 73 de la subestación que se desea encontrar.

Figura 73: Ventana Localizar



8. Agregar red de transporte

Para agregar una red de transporte sea de circuito doble o circuitos simples, escoger la opción > *Agregar*, red utilizada anteriormente para crear subestaciones, en la opción > *Tipo de red* elegir la opción > *Línea de transporte*.

Al momento de asignar el nombre y el voltaje de operación se crea una fuente en la pantalla principal fuera de la vista imbricada, entonces dirigirse a la >Barra de herramientas y escoger la opción .



Esta pestaña permite dibujar la línea de subtransmisión simple y para realizar el modelamiento correcto se utilizaron los puntos georreferenciados de forma que; partiendo de la subestación de salida se crean los tramos hasta la siguiente subestación con cambios de dirección en cada punto, mismo que representa a las torres. Es recomendable asignar las características eléctricas en el primer tramo dibujado ya que los tramos posteriores adoptaran las propiedades del anterior. Para ello elegir el tramo donde aparece la ventana de la figura 74; se debe elegir la configuración adecuada en la pestaña  presente junto a cada disposición.

Figura 74: Ventana de propiedades de tramo

Llenar los datos requeridos tal como lo indica la Tabla 52:

Tabla 52: Parámetros para la designación de tramos

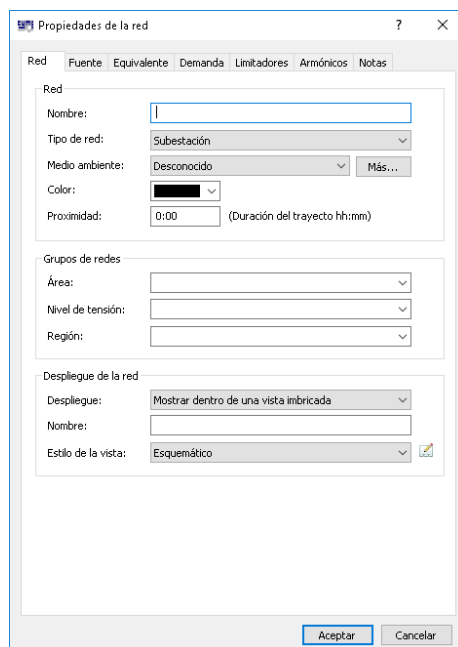
| | | |
|-------------------------------|---------------|---|
| CONFIGURACION POR FASE | Tipo | Configuración por fase |
| | Numero | Default |
| | Estado | Conectado / Desconectado |
| | Longitud | Calculo automático |
| PARAMETROS | Posición | A, B, C |
| | Fase A, B y C | Calibre del conductor adjunto en el Anexo |
| | Neutro 1 y 2 | |
| | Distancia | Espaciamiento simple o doble |

Para el circuito doble se eligió la pestaña  y se realizó el mismo procedimiento de la red de transporte simple.

9. Agregar subestaciones eléctricas

Para crear una subestación eléctrica, dirigirse a la *>Barra de herramientas* y en la opción *>Agregar red*, aparece la ventana de la figura 75.

Figura 75: Propiedades de red



Llenar los datos y en la opción *>Tipo de red* escoger *>Subestaciones*. Al aceptar aparece una vista imbricada de la subestación.

Dentro de la vista imbricada se puede representar a la subestación con el diagrama unifilar, para ello, dirigirse a la ventana de *>Caja de herramientas* ubicada en lado derecho de la pantalla principal y escoger los equipos que forman parte de la subestación como seccionadores, disyuntores, barras o transformadores

10. Asignación de características eléctricas

Cuando se inserta los equipos en la subestación, Cymdist automáticamente brinda las propiedades eléctricas por Default y para asignar sus respectivas características eléctricas, dar doble clic en el equipo; aparece la ventana de *>Propiedades de tramo* presentada en la figura


76. La pestaña  contiene todos los equipos creados al inicio de la modelación

Figura 76: Propiedades de tramo

Para agregar un nuevo equipo dar clic derecho en el disyuntor de cada subestación, en la opción >Editar escoger >Agregar relé de sobrecorriente. Aparece la ventana de Relé de sobrecorriente, presentada en la figura 77.

Figura 77. Ventana del relé de sobrecorriente

Llenar los datos requeridos tal como lo indica la tabla 53:

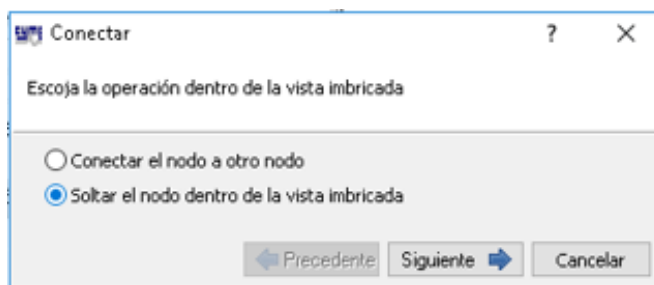
Tabla 53: Parámetros para crear un relé de sobrecorriente.

| | | |
|------------------------------------|--------------------|--|
| Relé de sobrecorriente | Numero | Numero de equipo creado en la red |
| | Estado | Conectado o desconectado |
| | Texto del símbolo | Para la Fase 50/51 y para neutro 50N/51N |
| | Tipo de protección | Elegir si es para fase o neutro |
| General | Tipo | Electrónico o Electromecánico |
| | Fabricante | Elegir el fabricante del equipo |
| | Modelo | Inverso, extremadamente inverso, etc. |
| Umbral y retardo de disparo | | Dato automático |

11. Conectar redes

Se debe tomar la fuente creada al inicio de cada línea de transporte y arrastrarla hacia la vista imbricada de cada subestación. Aparece el aviso de la figura 78.

Figura 78: Ventana Conectar



Elegir la opción >Soltar el nodo dentro de la vista imbricada >Siguiente y Conectar. Cymdist brinda un punto de conexión, mismo que se debe conectar a la fuente de la subestación o hacia los alimentadores.